

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

***Recupero strutturale del patrimonio edilizio:
dalla progettazione al collaudo***

con il contributo di:



Firenze, 5 maggio 2015

Ing. Francesco Pugi



STRUMENTI INFORMATICI PER IL CONSOLIDAMENTO

Analisi di vulnerabilità sismica
con l'ausilio di software di calcolo strutturale

SOMMARIO

● **PRINCIPI GENERALI SULLA PROGETTAZIONE CON L'AUSILIO DI SOFTWARE**

Processo progettuale: i punti fondamentali

Diagramma di flusso per l'analisi di vulnerabilità e gli interventi di miglioramento

Analisi strutturale dell'edificio: 3 stadi progressivi

● **TIPOLOGIE RESIDENZIALI, MONUMENTALI, VARIE**

Le strutture resistenti: impalcati, maschi murari, fasce, collegamenti rigidi.

Elementi costruttivi particolari: archi, pilastri murari, colonne in pietra

● **INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO: STATO DI FATTO e STATO DI PROGETTO**

La corretta rappresentazione degli interventi nei dati in input del modello strutturale

Interventi tradizionali: inserimento di catene e tiranti, iniezioni, betoncino armato, diaframi artificiali, rinforzi a taglio, precompressione

Interventi di nuova generazione: FRP per rinforzi a taglio e a pressoflessione di pareti, per cerchiatura esterna, per rinforzi di archi e pilastri murari

● PRINCIPI GENERALI SULLA PROGETTAZIONE CON L'AUSILIO DI SOFTWARE

PROCESSO PROGETTUALE

- 1.** Inquadrare correttamente l'importanza dell'analisi strutturale nell'ambito del processo progettuale
- 2.** Rappresentare adeguatamente la realtà fisica dell'edificio originario e degli interventi proposti (geometrie, vincoli, carichi, materiali: parametri meccanici e resistenze)
- 3.** Scegliere un corretto modello matematico e valutare l'attendibilità delle elaborazioni di calcolo, confrontando Stato di fatto (originario) e Stato di progetto (consolidato)
- 4.** Ragionare criticamente sulla dipendenza dei risultati dalle scelte effettuate sui dati e sui parametri di calcolo in input

1. Inquadrare correttamente l'importanza dell'analisi strutturale nell'ambito del processo progettuale

- usare preferibilmente software con metodi o parametri completamente ed esplicitamente dichiarati;
- mai assumere come validi i risultati senza un esame critico della relazione: dati → tipo di analisi → risultati;
- l'analisi numerica: non è l'unico aspetto da tenere in considerazione (es.: esame visivo, interpretazione dei dissesti, storia dell'edificio);
- inopportuni troppi sforzi per conseguire gradi di precisione illusori
- da preferirsi in generale i metodi più semplici e maggiormente comprensibili
- ancorarsi alla tradizione precedente all'epoca attuale del calcolo numerico (es. Statica grafica)
- attenzione alle conseguenze, attraverso il software, di indicazioni normative non sempre da applicare in modo acritico

2. Rappresentare adeguatamente la realtà fisica dell'edificio originario e degli interventi proposti (geometrie, vincoli, carichi, materiali: parametri meccanici e resistenze)

Qualunque procedura software deve processare, attraverso metodi adeguati, dati attendibili per ottenere risultati attendibili.

(a) dati attendibili



(b) modellazione adeguata alla tipologia dell'edificio



(c) risultati attendibili

In **(a)** e **(b)** si concretizzano le scelte del Progettista.

La fase **(c)** richiede in ogni caso un'interpretazione dei risultati.

3. Scegliere un corretto modello matematico e valutare l'attendibilità delle elaborazioni di calcolo

- il tipo di analisi deve adattarsi alle caratteristiche dell'edificio:
l'analisi per meccanismi di collasso (fondata sulle verifiche di stabilità, di natura essenzialmente geometrica) è sempre molto importante per tutti gli edifici in muratura esistenti, e lo è in modo assoluto per gli edifici storici e monumentali.

I risultati sono molto attendibili perché si basano su dati accertabili con ottimo livello di conoscenza: la geometria ed i carichi.

E' un'analisi fondamentale per tutti gli edifici esistenti: la quasi totalità dei crolli registrati in occasione degli eventi sismici è riconducibile ai meccanismi di collasso per corpo rigido

Aedes_Made_Expo_2015 - Aedes.PCM 2015

Analisi Cinematica

File Supporto Strumenti Modello Cinematismi

Annulla modello cinematico Crea cinematicismo Polilinea Piano qualsiasi Taglio Definizione Selezione corpi Punti Rinforzi Solai Carichi Corpi partecipanti Altri corpi Verifica Esegui calcolo

Cinematismi

01. Cinematismo
 Ribaltamento semplice
 $\alpha_0 = 0.085$
 SLV
 $PGA_{CLV} / PGA_{DLV} = 0.151 / 0.198 = 0.763$
 $TR_{CLV} / TR_{DLV} = 231 / 475 = 0.486$

Proprietà
 Cinematismo

Direzione sismica	0.00°
N	2
H	8.300
Z	0.000
T1	0.244
Y	1.200
FC	1.35
Verifica SLD	No
Sempre e*=1	No
Risultati	
α_0	0.085
M*	27035
e*	0.830
α_0^*	0.076
SLD	
SLV	
a1*	0.099
a2*	0.000
a*	0.099
PGA _{CLV}	0.151
TR _{CLV}	231

$T=0.05 \cdot H^{\wedge}(3/4); y=3N/(2N+1)$

SLD

Cinematismi

Commento

Indicatori di rischio sismico

SLD: PGA TR
 SLV: PGA TR

Report Cinematismi

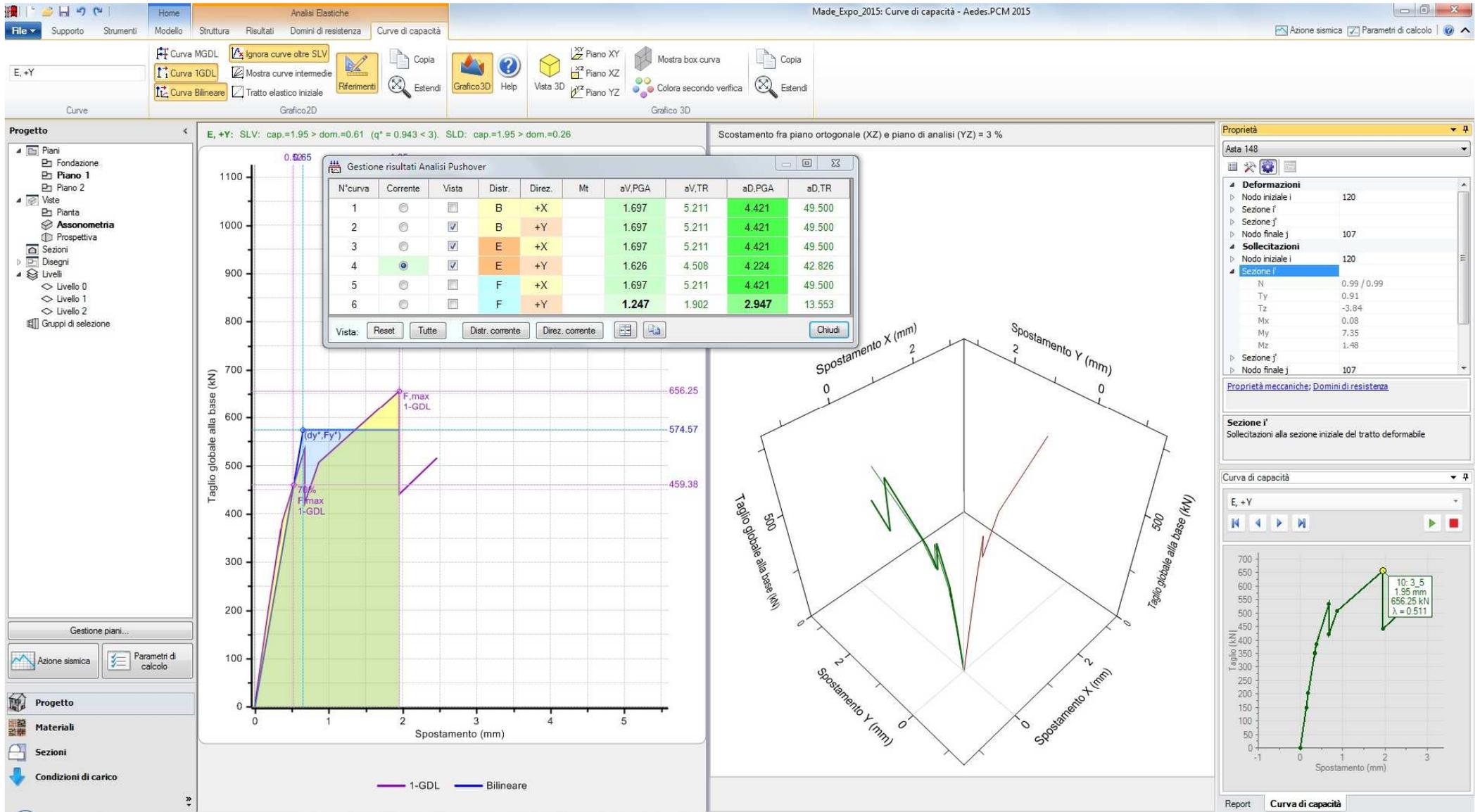
Esempio di analisi per meccanismi di collasso

- **l'analisi pushover** (fondata sulle verifiche di resistenza) deve essere abbastanza semplice da poter essere compresa dal Progettista; va condotta con metodi appropriati e che possono essere mantenuti sotto controllo.

Il telaio equivalente è uno di questi, e con gli opportuni adattamenti può descrivere in modo corretto il comportamento di una vasta classe di edifici e di sottostrutture (ad es. macroelementi di edifici monumentali), **evitando preferibilmente modelli troppo estesi o complessi** (cui corrisponderebbero elaborazioni di valore dubbio e di difficile interpretazione)

I risultati dipendono fortemente dalla qualità dei dati sui materiali e dalla corretta modellazione: pertanto l'analisi pushover, pur fornendo importanti risultati, **deve essere soggetta a interpretazione critica**

D'altra parte è proprio questo il motivo per cui si devono generare più curve, con diverse distribuzioni di forze: cioè, la difficoltà di fotografare con esattezza il comportamento reale dell'edificio dal punto di vista delle resistenze meccaniche



Esempio di analisi pushover: curve di capacità

4. Ragionare criticamente sulla dipendenza dei risultati dalle scelte effettuate sui dati e sui parametri di calcolo in input

- diversi giudizi finali a cui una valutazione di vulnerabilità può giungere utilizzando impostazioni di calcolo differenti.
- mantenere sotto controllo tutto il processo di calcolo, attraverso i parametri offerti dal software e il confronto con calcoli semplici (come suggerito dall'attuale Normativa)

Lo studio degli effetti dovuti alla variazione dei dati

è molto importante per diversi aspetti:

- permette di progettare in **maggiore sicurezza**, rendendo oggettivamente più valide le elaborazioni svolte
- rende consapevoli sull'importanza di **approfondire le indagini** o meno ⇒ importanti conseguenze economiche
- per i progetti di consolidamento, variando le possibili tecniche di intervento si può cercare di individuare la **migliore prestazione finale con il minor prezzo possibile**

EDIFICI ESISTENTI

Fase 1

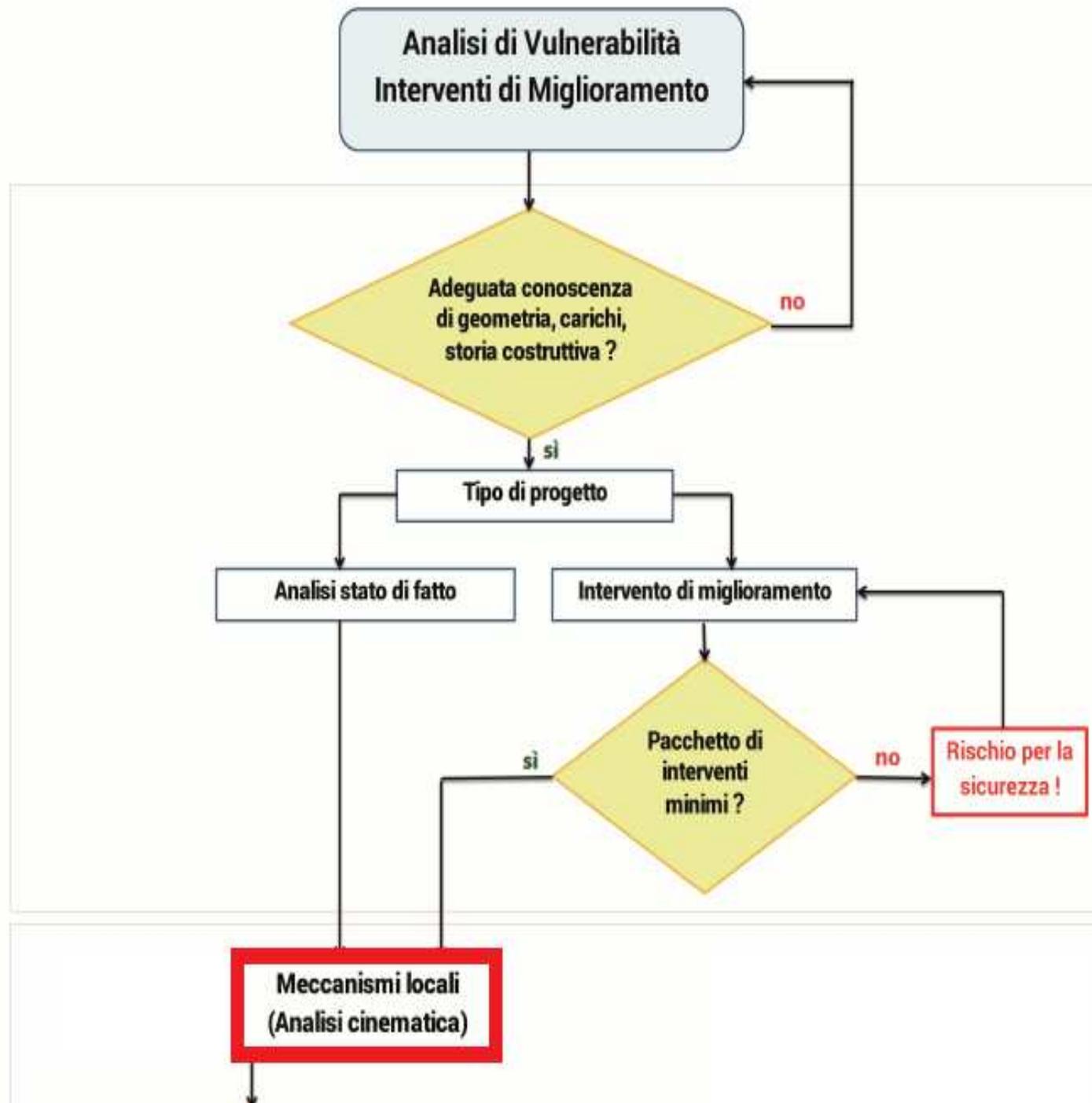
IMPOSTAZIONE DEL PROGETTO (PRIMA DEL CALCOLO)

RIPRISTINO O RINFORZO DELLE
CONNESSIONI TRA ELEMENTI STRUTTURALI
DIVERSI:

- TRA PARETI MURARIE
 - TRA PARETI E TRAVI O SOLAI
- ANCHE ATTRAVERSO L'INTRODUZIONE DI
CATENE O TIRANTI

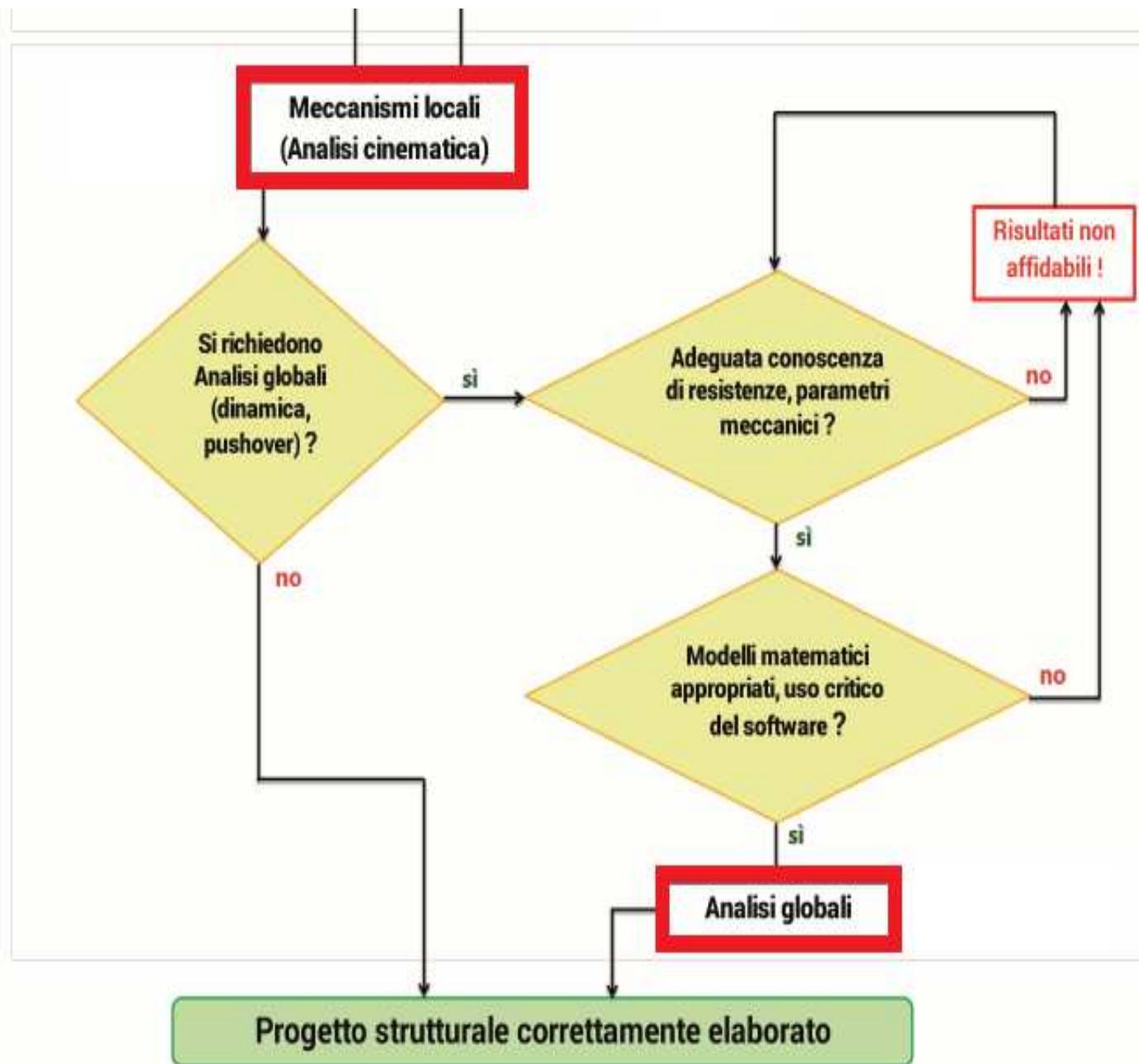
Fase 2

ELABORAZIONI DI CALCOLO (ANALISI CON SOFTWARE)



Fase 2

ELABORAZIONI DI CALCOLO (ANALISI CON SOFTWARE)



ANALISI STRUTTURALE DELL'EDIFICIO: 3 stadi progressivi:

➔ **Se la muratura è disgregata**, caotica e con malta di scarsa qualità, è impossibile il comportamento d'insieme. Né l'analisi cinematica né (a maggior ragione) le analisi elastiche o ultraelastiche possono identificare un parametro di capacità antisismica.

La struttura deve essere consolidata comunque, se non ricostruita.

E' necessario un **gruppo di interventi minimi**

➔ La muratura è sufficientemente organizzata in modo che l'edificio può comportarsi come un insieme di corpi resistenti, tra loro collegati più o meno efficacemente. L'analisi cinematica studia i **meccanismi locali di collasso** di corpi rigidi e definisce la capacità antisismica dei singoli elementi strutturali costituenti il complesso del fabbricato (singole pareti, volte, ecc.)

➔ Superati i controlli di cui alle due fasi precedenti, il complesso murario mostra un **comportamento scatolare**: a questo punto (e solo a questo punto) può essere adeguatamente studiato con **metodi elasto-plastici**, quali le analisi pushover.

● TIPOLOGIE RESIDENZIALI E MONUMENTALI

Le analisi devono essere calibrate sulla tipologia dell'edificio.

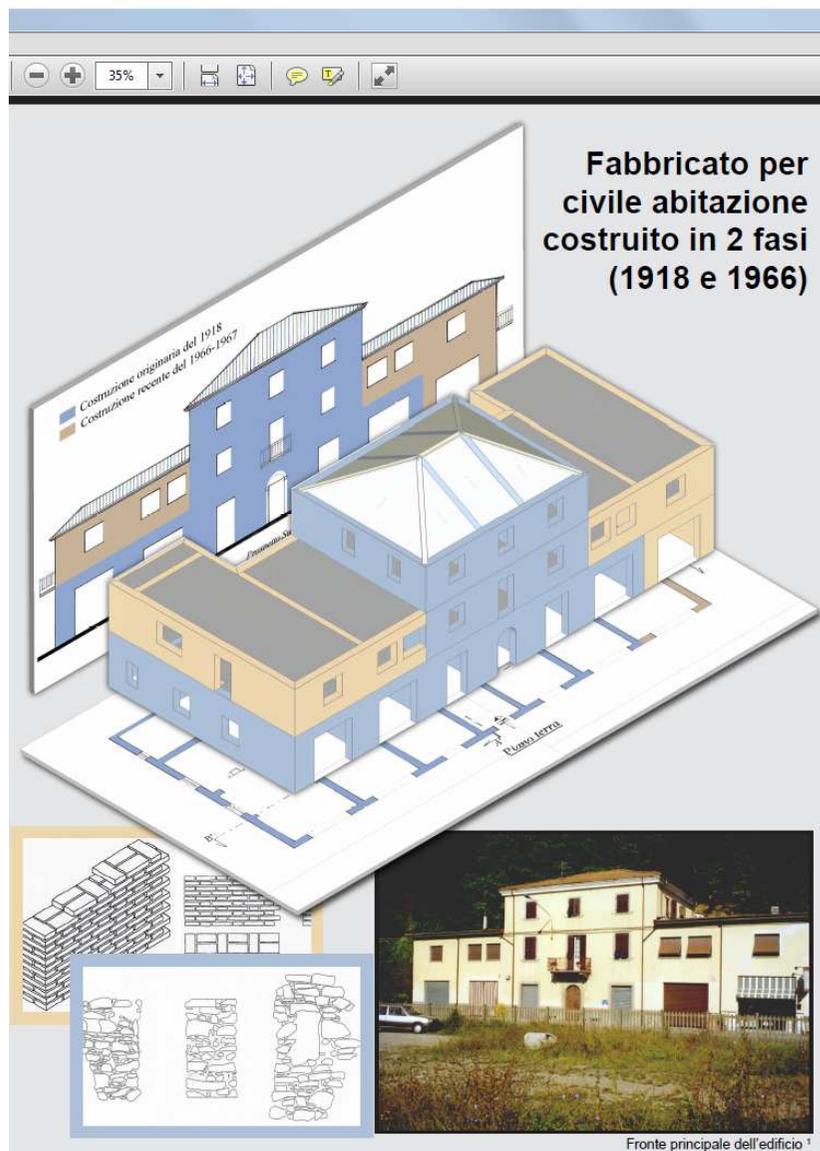
➔ **Per gli edifici residenziali** possono essere eseguite tutte le analisi previste dalle Norme: analisi cinematica, analisi modale e analisi sismiche (lineari o preferibilmente pushover).

Gli elementi resistenti sono: impalcati, maschi murari, fasce, collegamenti strutturali. Possono essere presenti: archi, pilastri in muratura, elementi in altra tecnologia (c.a., legno, acciaio)

➔ **Per gli edifici monumentali** si eseguirà principalmente l'analisi cinematica per meccanismi di collasso. Con un'efficace distribuzione delle masse, assume validità anche l'analisi modale, per comprendere la dinamica locale (in generale si avranno masse che vibrano localmente senza relazioni di rigidità reciproca).

Infine l'analisi statica non lineare può essere applicata **non tanto per un modello globale**, ma piuttosto per lo studio dei cinematismi nel piano o del comportamento di sottostrutture (macroelementi).

EDIFICI RESIDENZIALI

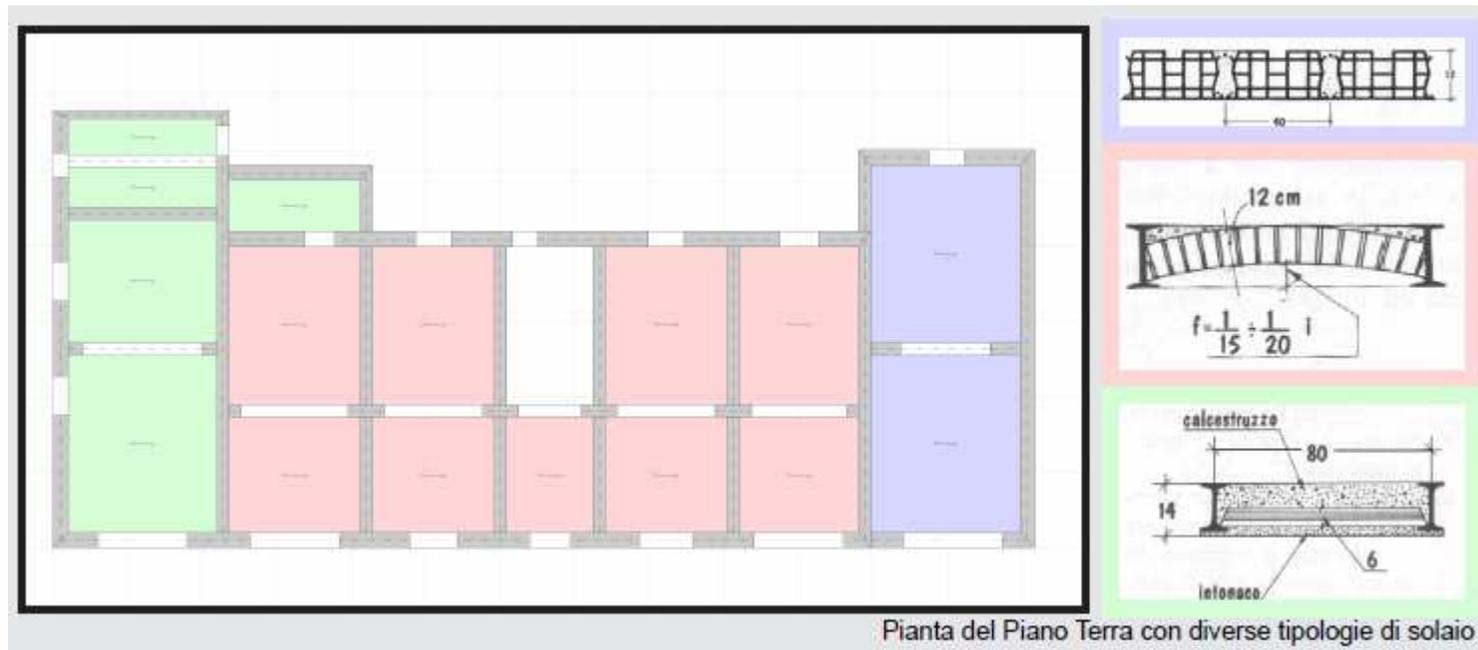


Esempio di fabbricato per civile abitazione.

Gli elementi strutturali resistenti sono:

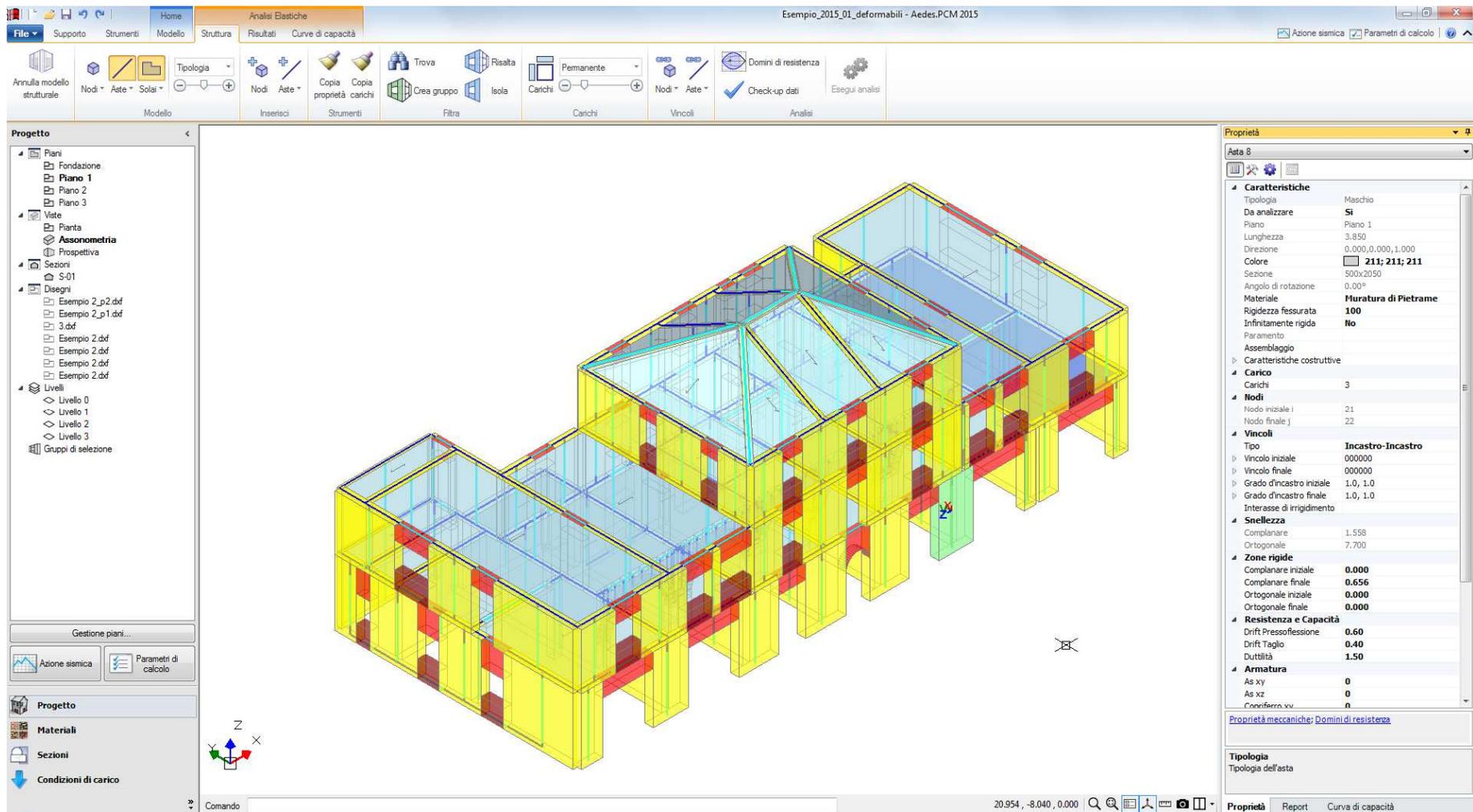
impalcati (con solai di varia natura),
pareti murarie (composte da maschi, fasce e nodi),
travi di copertura.

Il modello strutturale prevede anche collegamenti rigidi fra pareti, consistenti in link che modellano l'ammorsamento delle pareti e il comportamento d'insieme delle strutture.

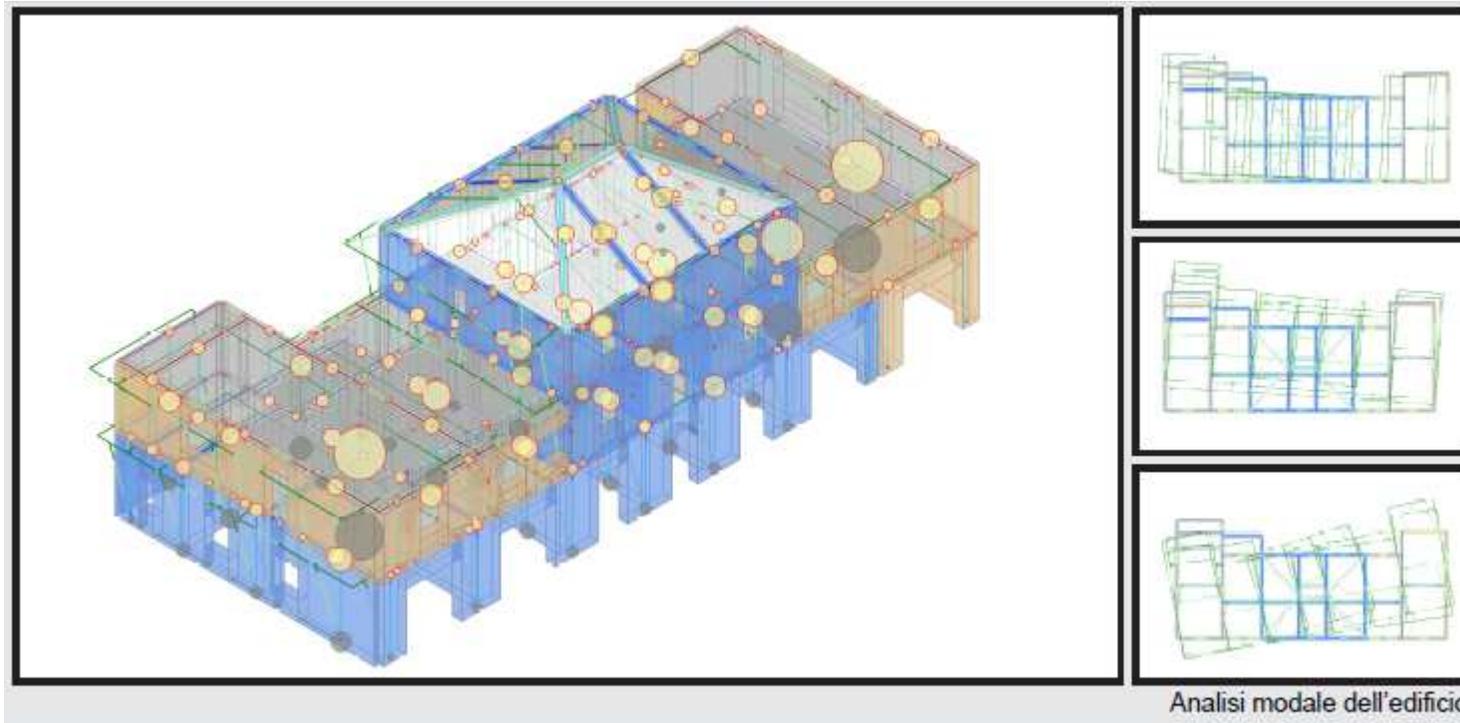


Impalcati: per questo edificio sono modellati come deformabili, non essendoci ovunque una soletta in calcestruzzo.

La soletta è però presente in alcune maglie di solaio, che possono essere qualificate come rigide \Rightarrow è molto importante studiare il comportamento sotto una corretta ipotesi sulla rigidità degli impalcati. Maglie rigide possono essere presenti in piani deformabili, e analogamente in impalcati rigidi possono essere presenti zone non vincolate rigidamente al nodo master (p.es. fori nei solai per doppi volumi)



La colorazione per tipologia distingue gli **elementi strutturali**: maschi murari, fasce (distinte in sopra e sotto finestra), solai, travi di copertura. Sono presenti anche alcune aperture ad arco



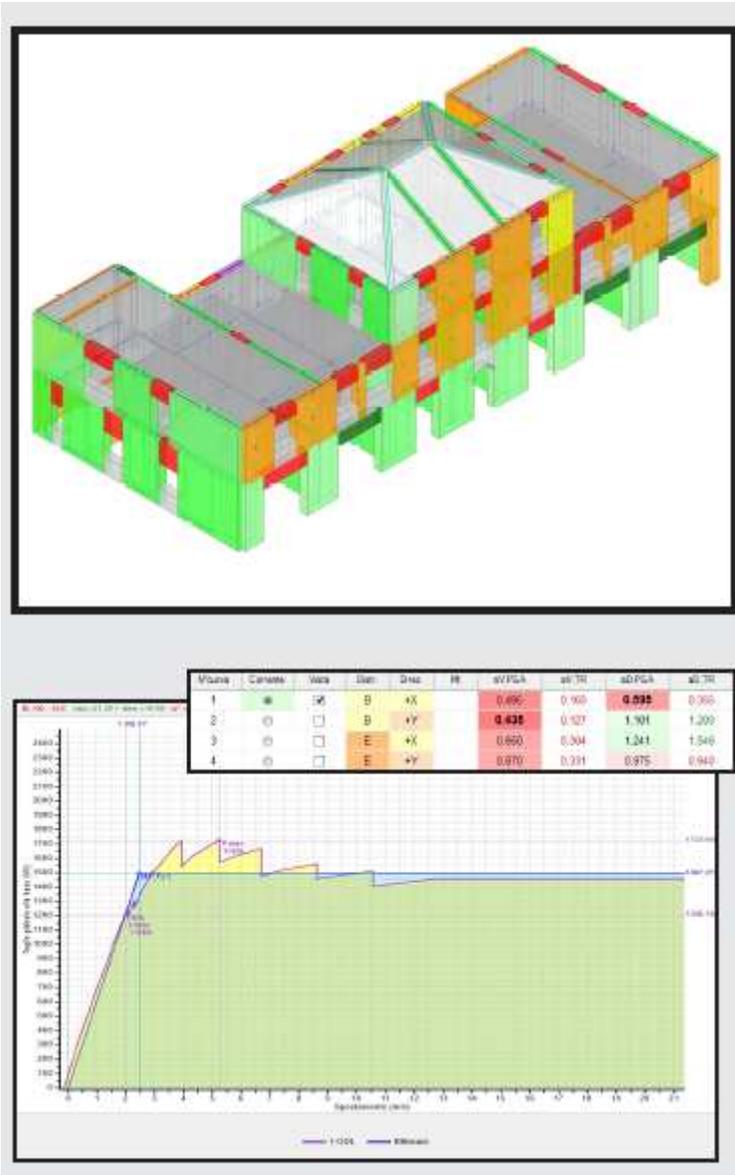
L'analisi modale con masse locali descrive
il comportamento dinamico dell'edificio.

I modi di vibrare sono fondamentali per capire
come la struttura reagisce di fronte all'evento sismico;
nelle analisi pushover di tipo adattivo l'analisi modale
viene rieseguita dopo ogni degrado strutturale

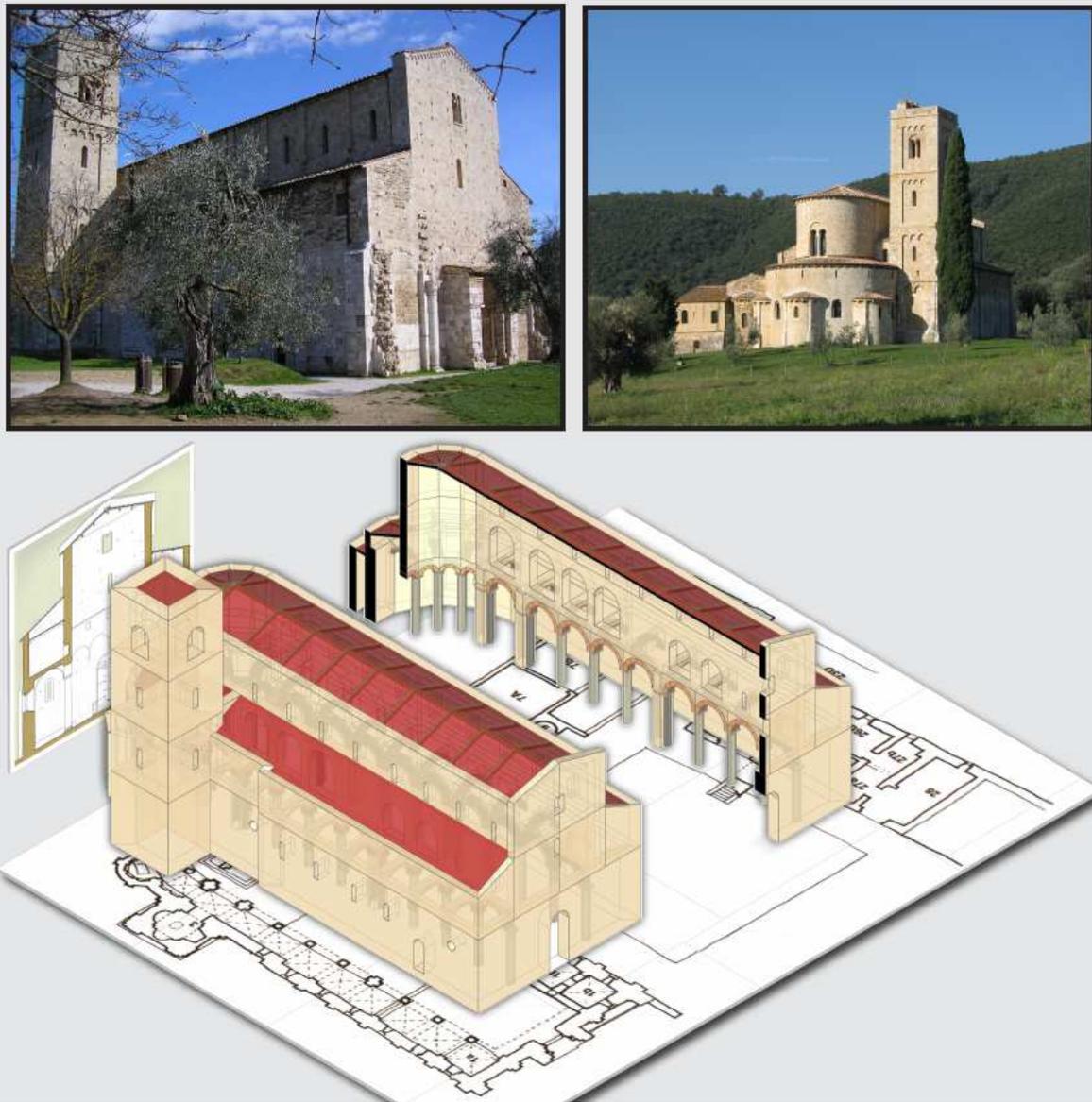
Analisi pushover con corrispondente Curva di capacità

Da questa analisi si ottengono informazioni sull'accelerazione al suolo sostenibile (Indicatori di Rischio Sismico) oltre alla caratterizzazione degli elementi strutturali che progressivamente si fessurano e degradano con l'incremento delle forze sismiche.

Studiando il degrado progressivo è così possibile individuare le pareti o in generale gli elementi strutturali che devono essere oggetto di intervento ai fini del miglioramento



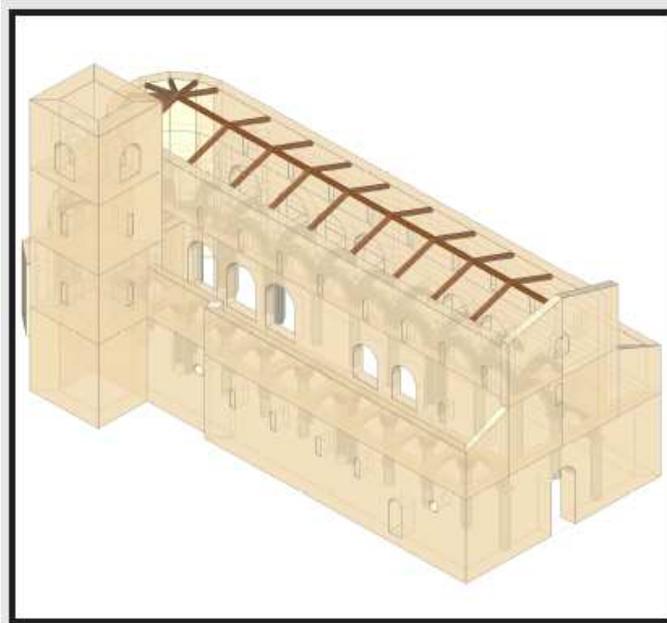
EDIFICI MONUMENTALI



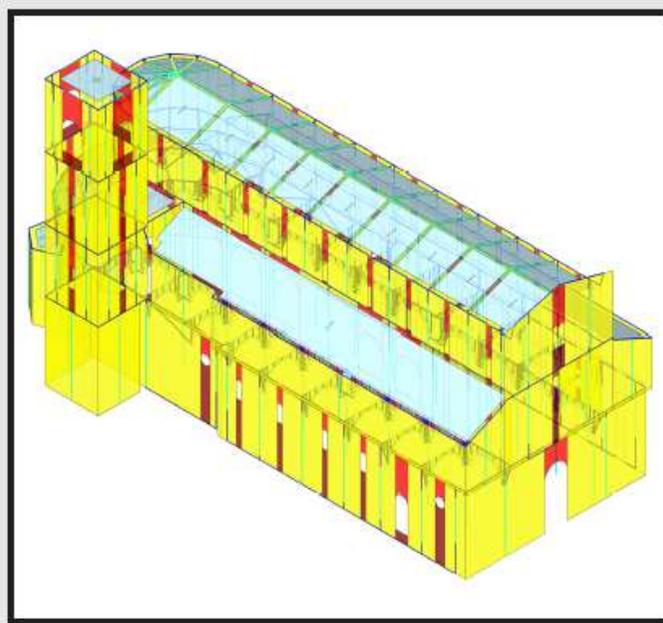
Esempio di edificio monumentale (chiesa): Abbazia di Sant'Antimo

Fasi di studio col software:

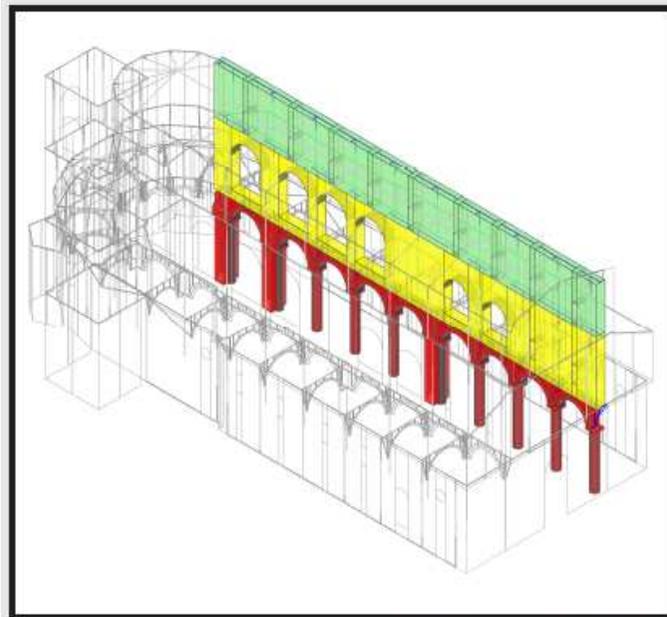
- modellazione architettonica
- modellazione strutturale
- analisi per cinematismi
- analisi modale (masse locali)
- analisi statiche non lineari per studio di macroelementi (zone del monumento caratterizzate da uno specifico comportamento strutturale), ed in particolare per archi e volte



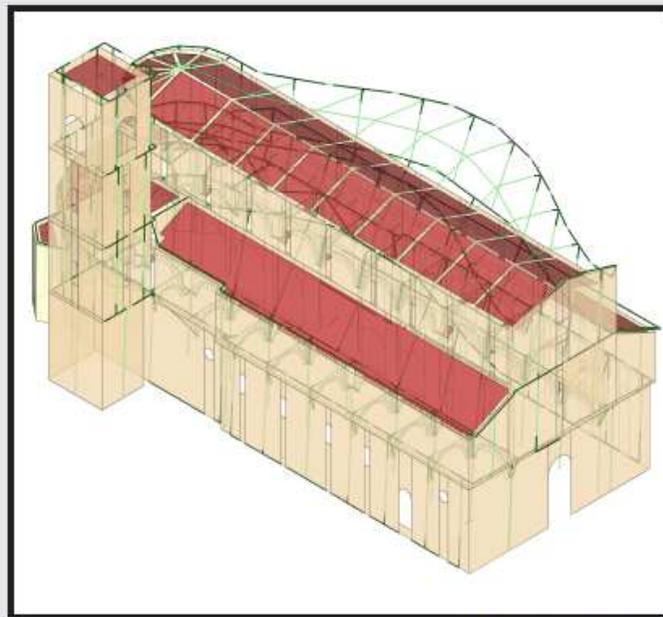
Modello architettonico



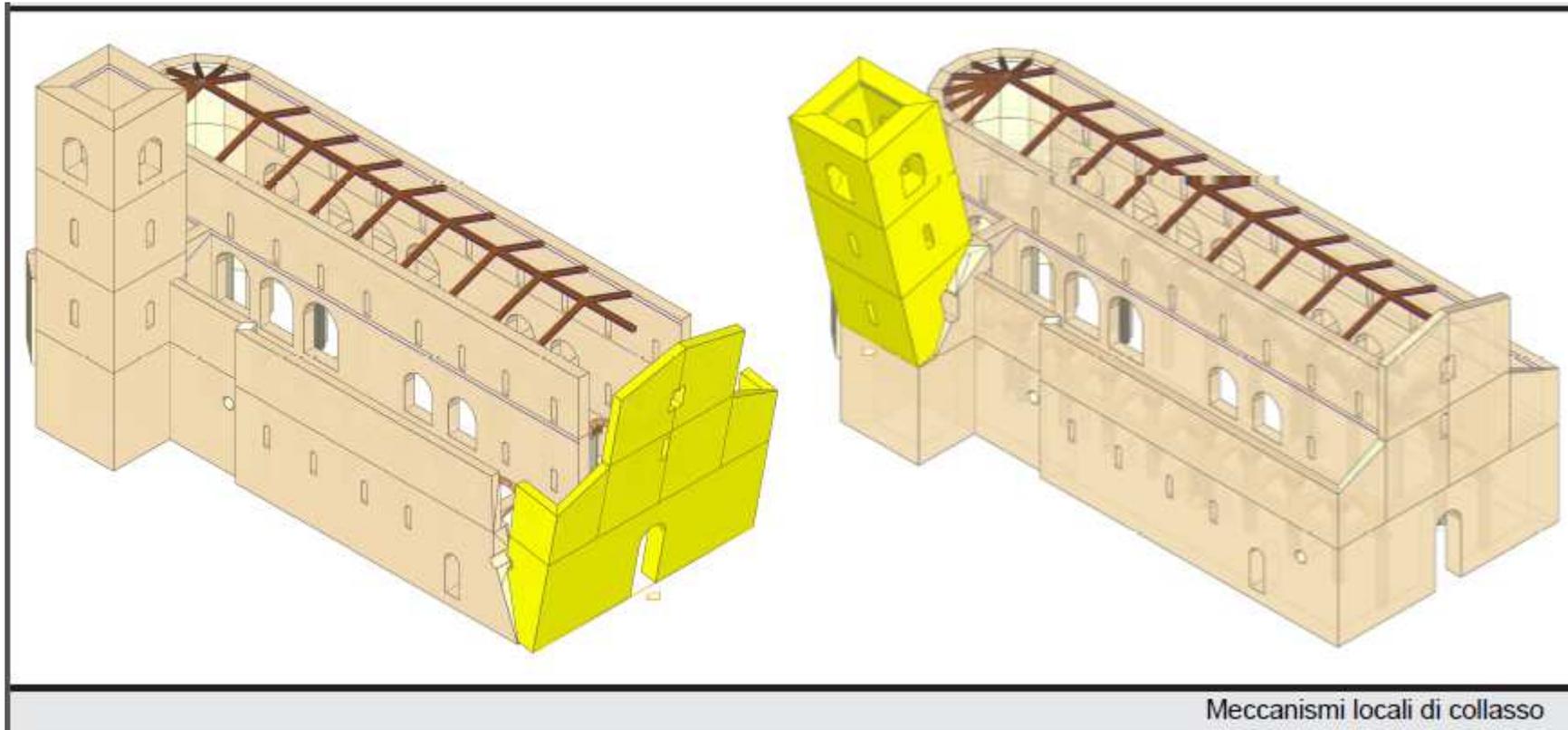
Modello strutturale



Allineamento longitudinale



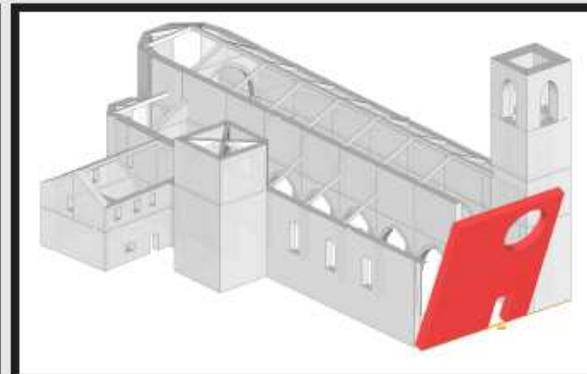
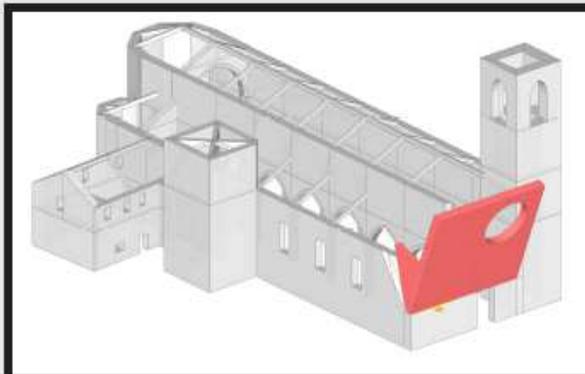
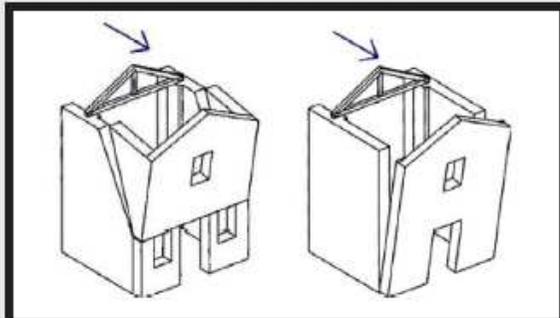
Deformata modale



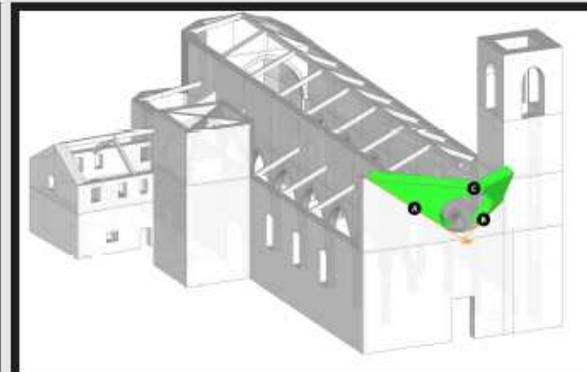
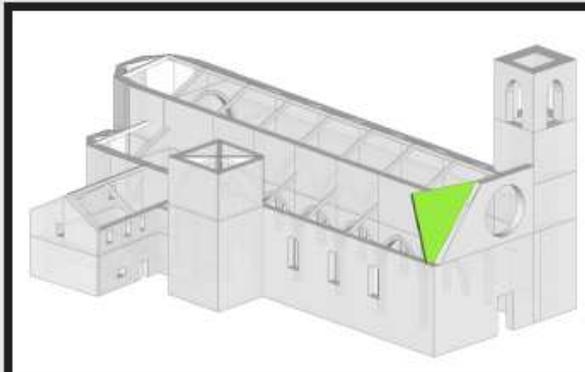
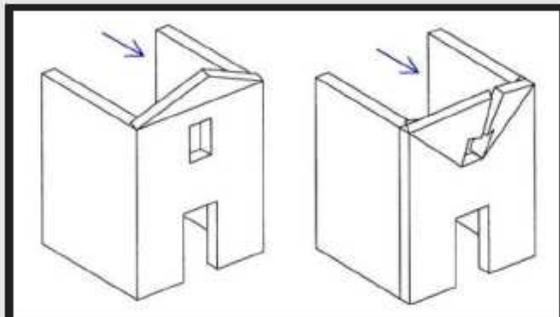
I meccanismi locali vengono definiti sulla base dell'osservazione e dello studio del fabbricato. Per le chiese, la Normativa vigente propone inoltre una serie di cinematismi noti dall'esame di una vasta casistica, che costituiscono una linea-guida per il Progettista

Chiese: Meccanismi di collasso da Normativa

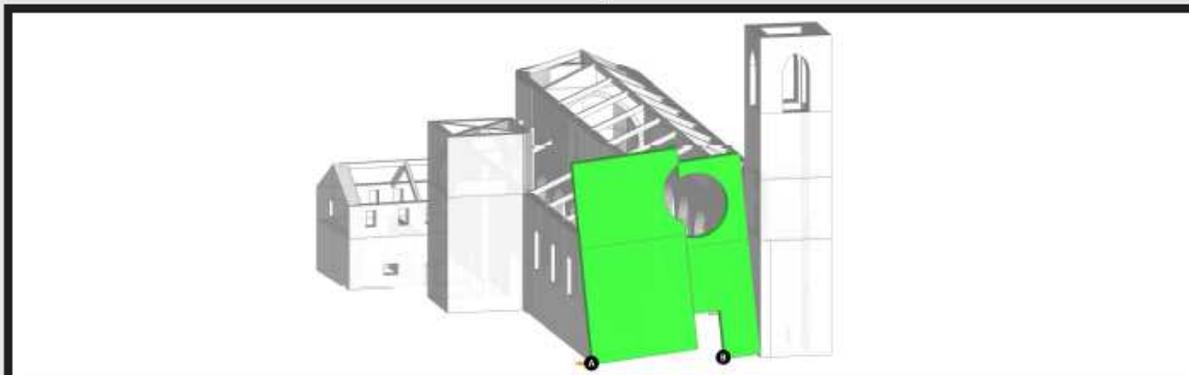
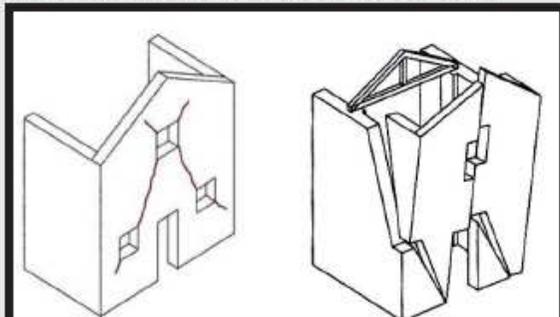
Ribaltamento della facciata



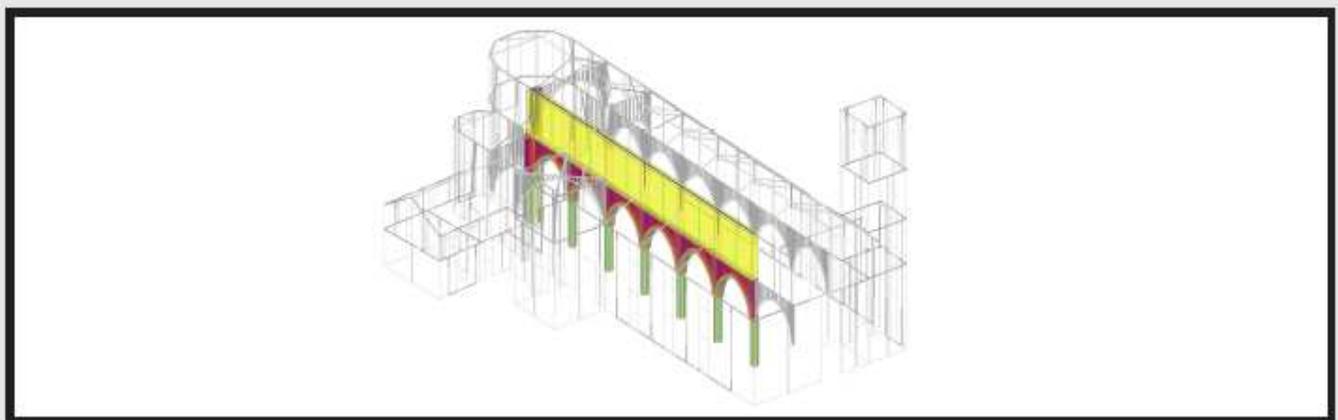
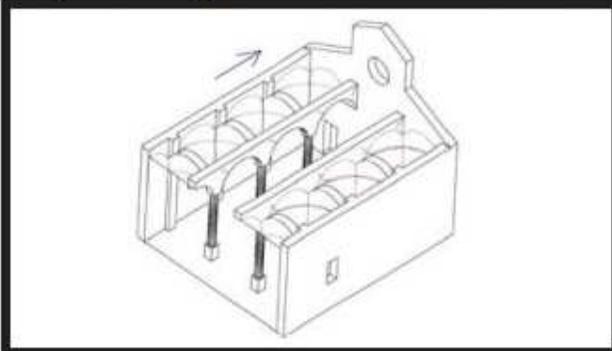
Meccanismi nella sommità della facciata



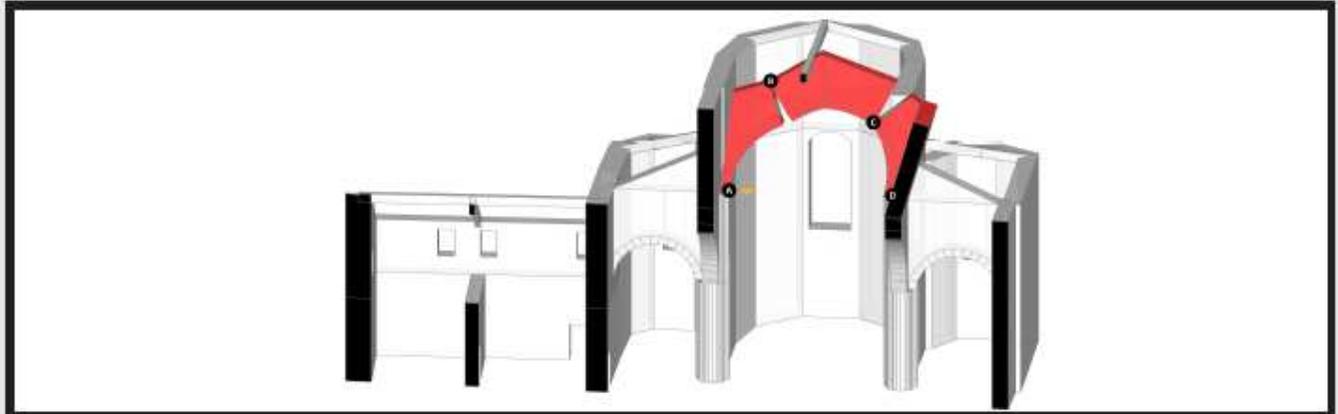
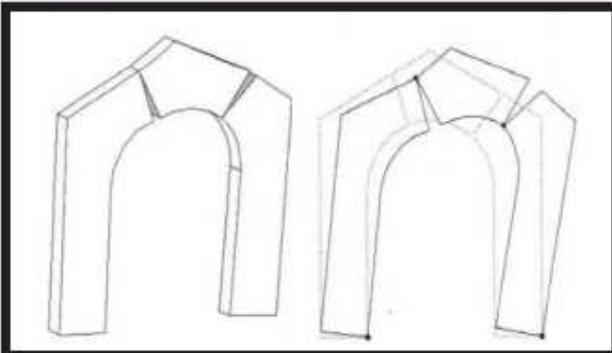
Meccanismi nel piano della facciata



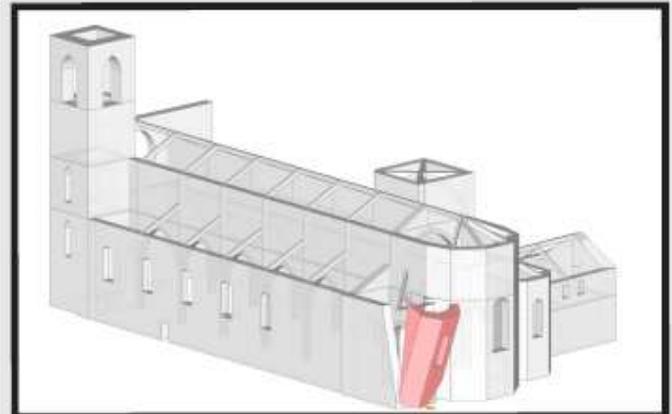
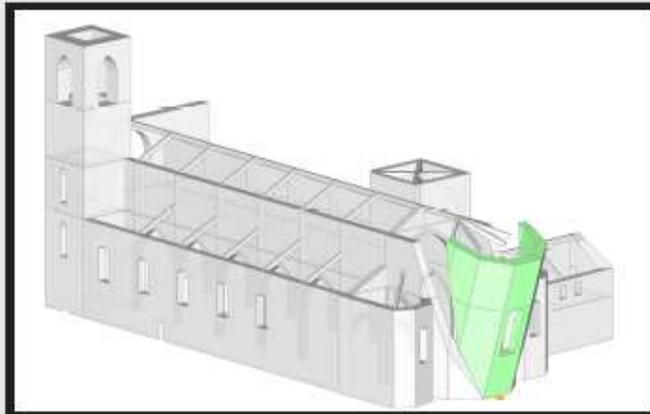
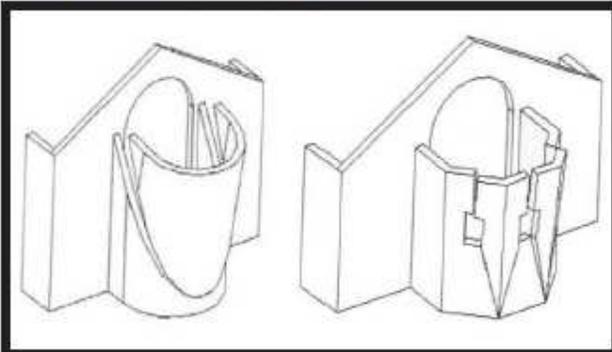
Risposta longitudinale del colonnato



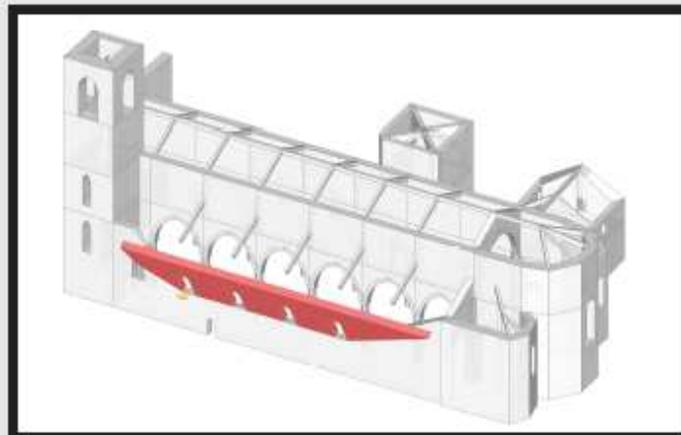
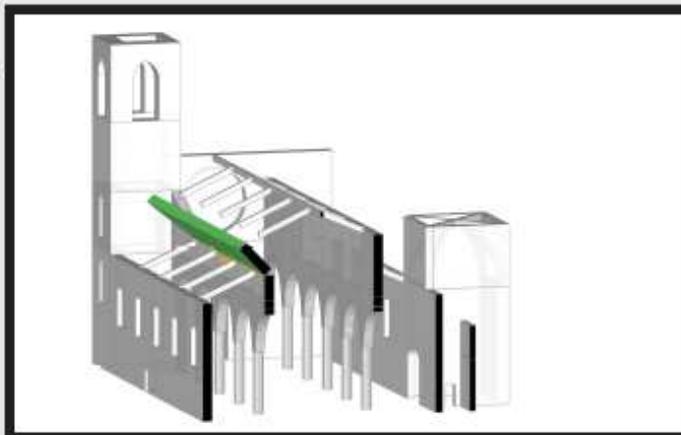
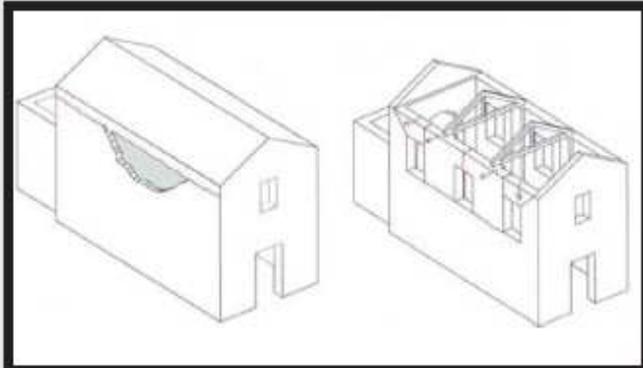
Archi trionfali



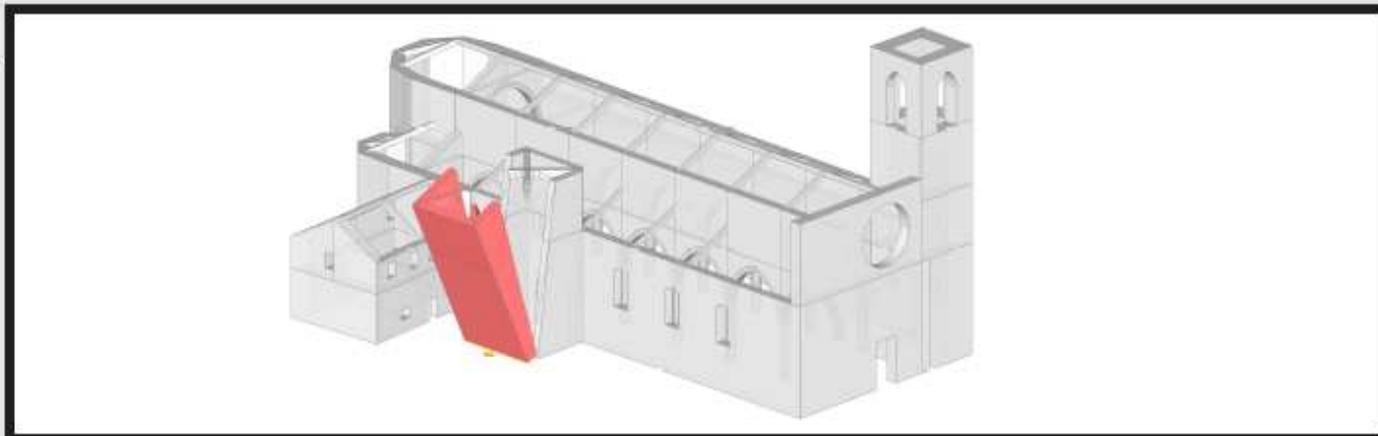
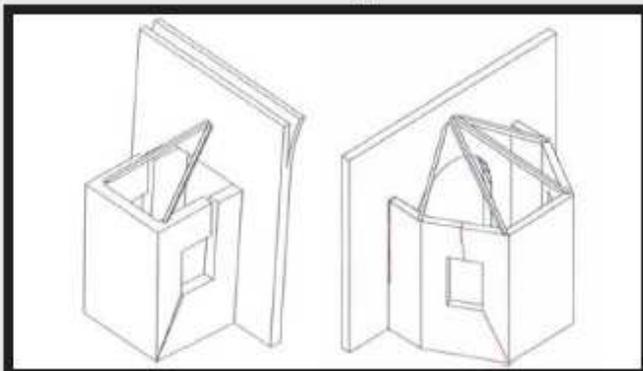
Ribaltamento dell'abside



Elementi di copertura: aula

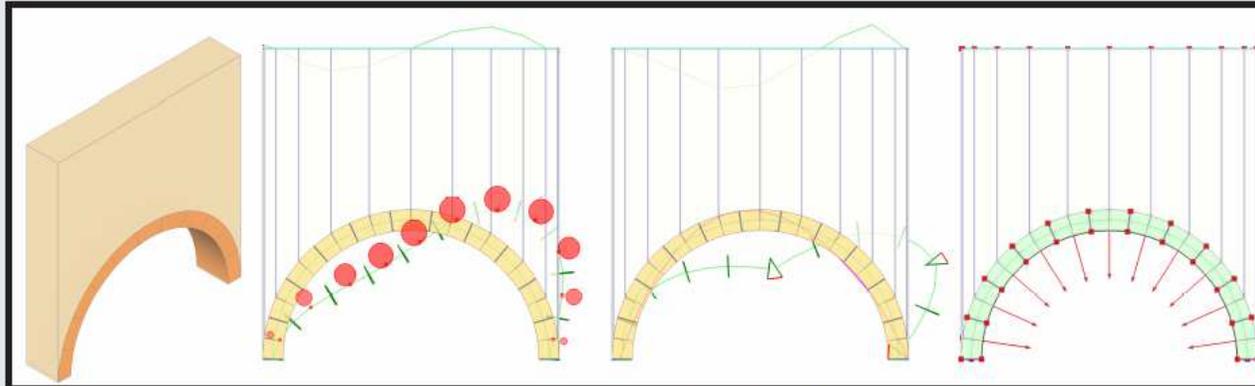


Ribaltamento delle cappelle

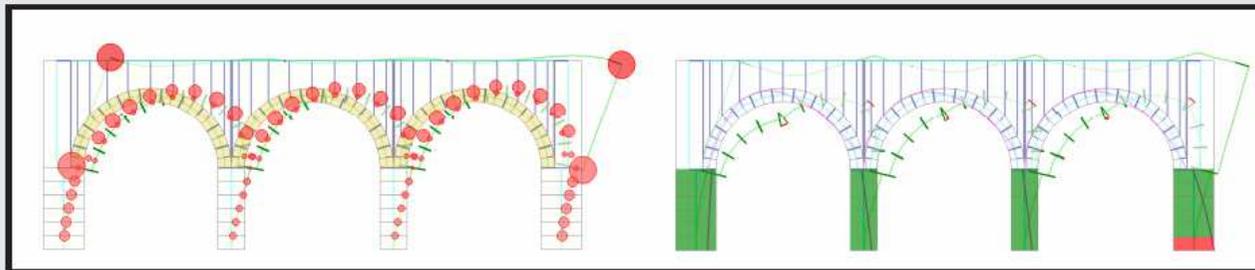


Archi e volte studiati con analisi statica non lineare (cinematismo nel piano)

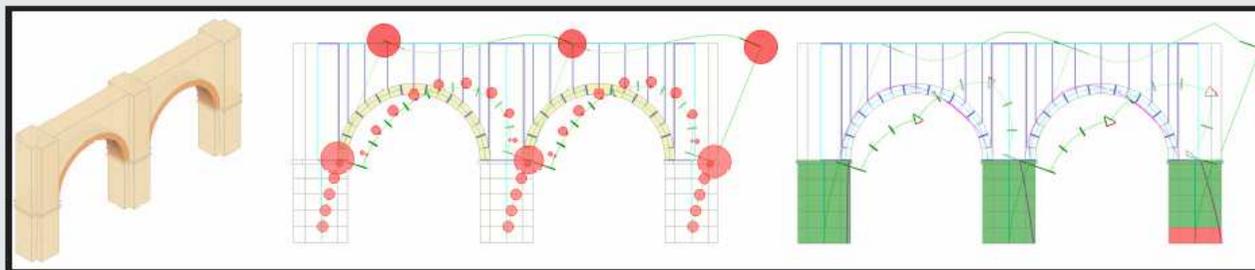
Elementi Costruttivi Storici e monumentali



Arco blocchi e giunti: analisi modale, analisi pushover, forze di precompressione

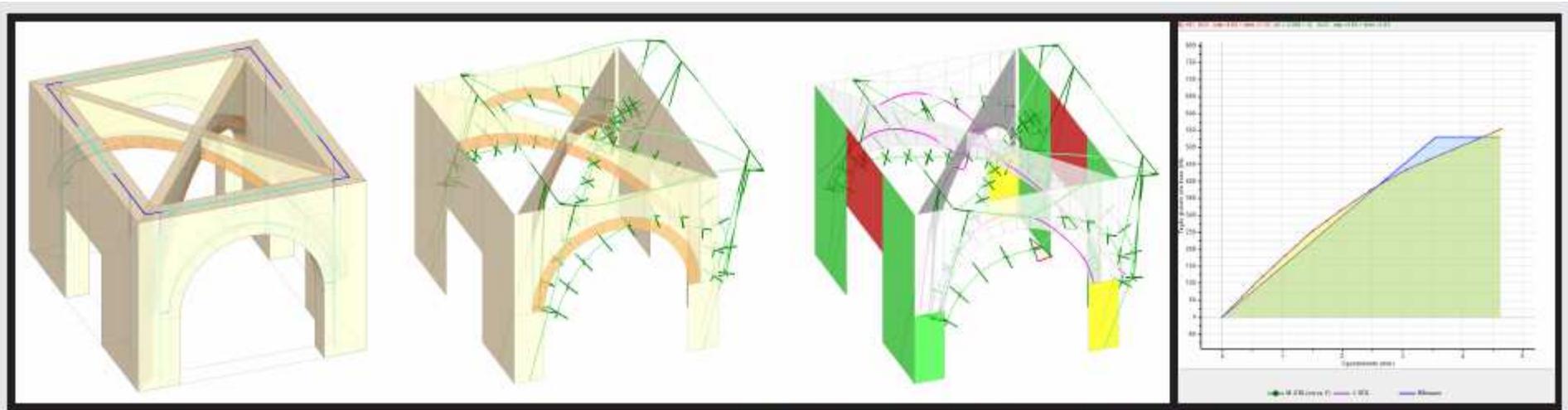


Tre archi in fila: analisi modale, analisi pushover

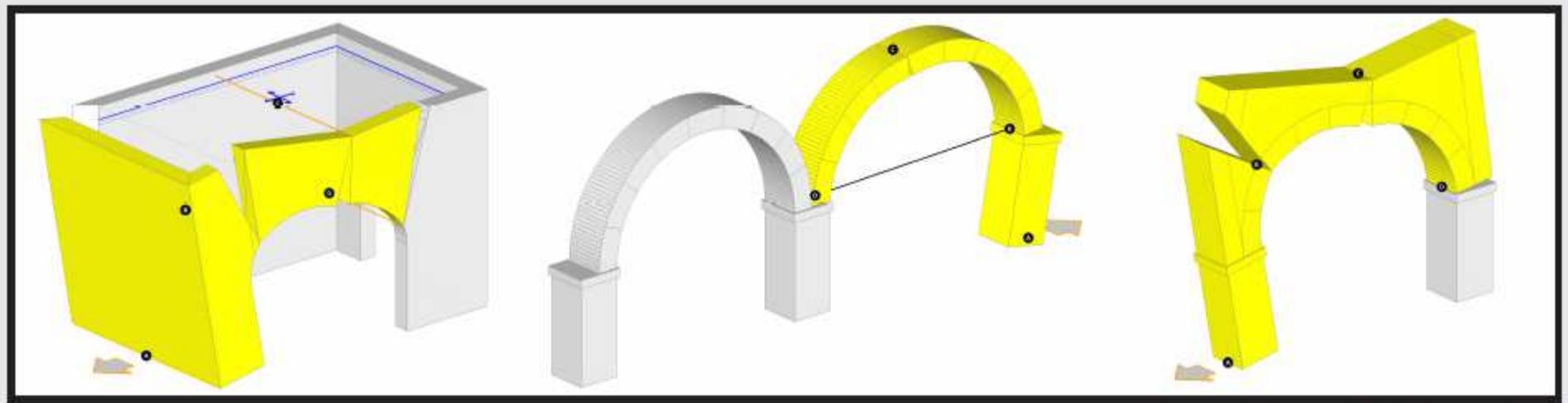


Archi impostati su pilastri con sezione generica: analisi modale, analisi pushover

All'analisi statica non lineare si affianca il meccanismo di collasso a 4 cerniere

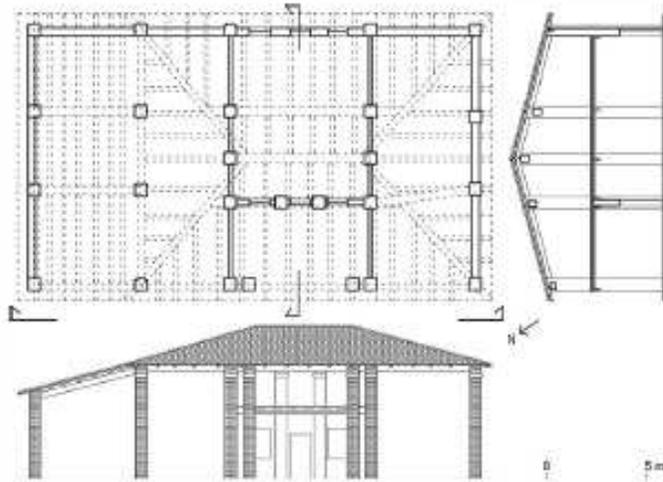


Volta a crociera: analisi modale, analisi pushover, curva di capacità



Meccanismo di collasso a 4 cerniere

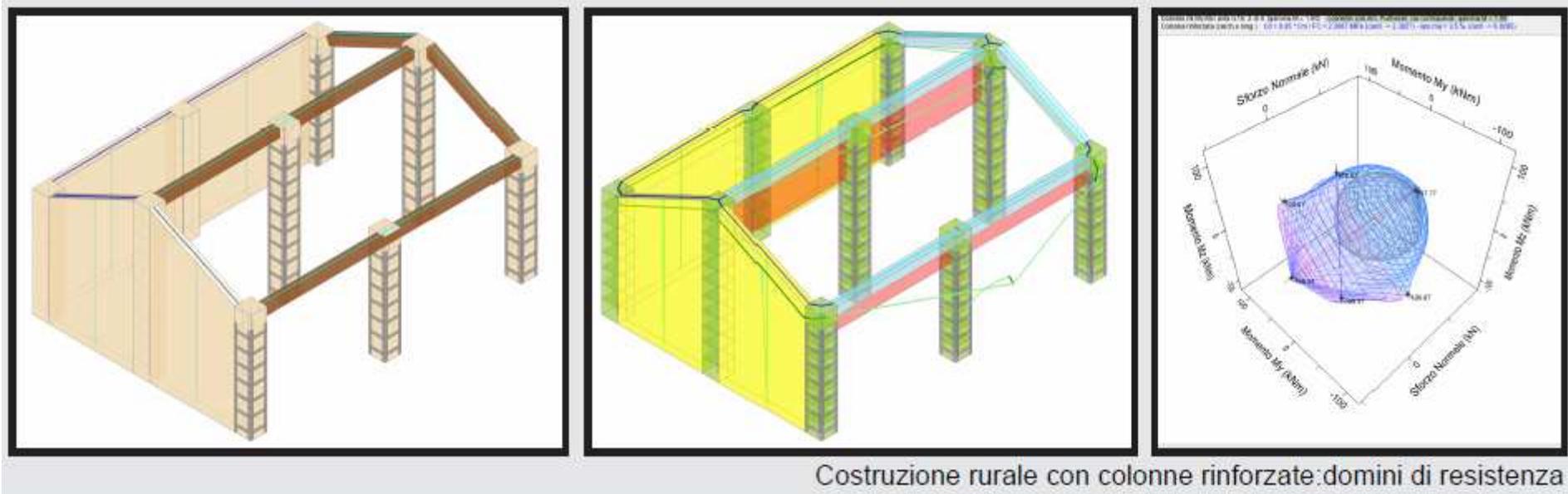
ALTRE TIPOLOGIE: EDIFICI RURALI



Questa tipologia consiste in genere in una struttura monopiano, con copertura sostenuta principalmente da pilastri murari, ed eventuali murature perimetrali, talvolta di puro tamponamento (casi molto presenti in Emilia). I **pilastri murari** sono gli elementi strutturali fondamentali: lo studio deve essere condotto con modelli appropriati

Analisi dei pilastri murari

- verifica a pressoflessione con criterio geometrico: la curva delle pressioni non deve fuoruscire dalla sezione trasversale
- verifica a pressoflessione con criterio di resistenza: non devono essere superate la resistenza a trazione (presente in caso di rinforzo) e a compressione. Questa condizione si accerta tramite la posizione dei punti rappresentativi dello stato di sollecitazione all'interno di domini di resistenza tridimensionali



● **INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO: STATO DI FATTO e STATO DI PROGETTO**

- Modellazione e analisi strutturale devono essere condotte sia per lo Stato di fatto che per lo Stato di Progetto
- Il Miglioramento viene dimostrato attraverso un incremento dei coefficienti di sicurezza, o, nel caso sismico, degli Indicatori di Rischio
- E' necessario che il software gestisca adeguatamente le varie tipologie di intervento
- Si distinguono interventi di tipo tradizionale e di nuova generazione:
 - **Interventi tradizionali**: inserimento di catene e tiranti, iniezioni, betoncino armato, diatoni artificiali, rinforzi a taglio, precompressione, cerchiature di pilastri in acciaio
 - **Interventi di nuova generazione**: con FRP: intonaci armati con reti FRP, nastri a pressoflessione, nastri a taglio, cerchiatura perimetrale a livello dei solai, rinforzo di archi, cerchiatura di pilastri murari; iniezioni con malte a composizione controllata

INTERVENTI TRADIZIONALI

- Le proprietà degli elementi strutturali prevedono la possibilità di vari tipi di rinforzo, ad esempio le **iniezioni**.
- Per alcuni di questi interventi, le Norme propongono coefficienti correttivi per parametri meccanici e resistenze.
- Per descrivere ad esempio l'utilizzo di particolari malte, è possibile sia ridefinire opportuni coefficienti correttivi, oppure creare un nuovo materiale (muratura esistente) con le proprietà meccaniche e con le resistenze ottenute attraverso l'intervento

Materiali

- Calcestruzzo
 - C25/30
- Acciaio
 - Acciaio S235
- Muratura esistente
 - Muratura esistente
- Muratura nuova
 - Muratura nuova
- Materiale generico
 - Legno
- Blocchi e giunti
 - Blocchi e giunti

Generale	
Nome	Muratura esistente
Tipologia	Conci di pietra tenera
Livello di Conoscenza	LC3 [da Parametri di Calcolo]
Moduli elastici	
Valori	Personalizzati
E	4000
G	1000
Resistenze	
Valori	Personalizzati
f,m	8.000
τ, D	0.800
f,tm	0.800
f,hm	4.000
Altre proprietà meccaniche	
w	16.00
Coefficiente d'attrito	0.40
α	0.000010
Coefficienti correttivi	
Malta buona	1.50
Giunti sottili	1.50
Ricorsi o listature	1.00
Connessione trasversale	1.50
Nucleo scadente o ampio	0.90
Iniezioni di malta	1.70
Intonaco amato	2.00
Proprietà grafiche	
Colore 2D	169; 16;
Colore 3D	245; 22;
Texture	Mattoni
Requisiti geometrici maschi murari	
Spessore minimo	0.300
Snellezza complanare limite	2.000
Snellezza ortogonale limite	10.000

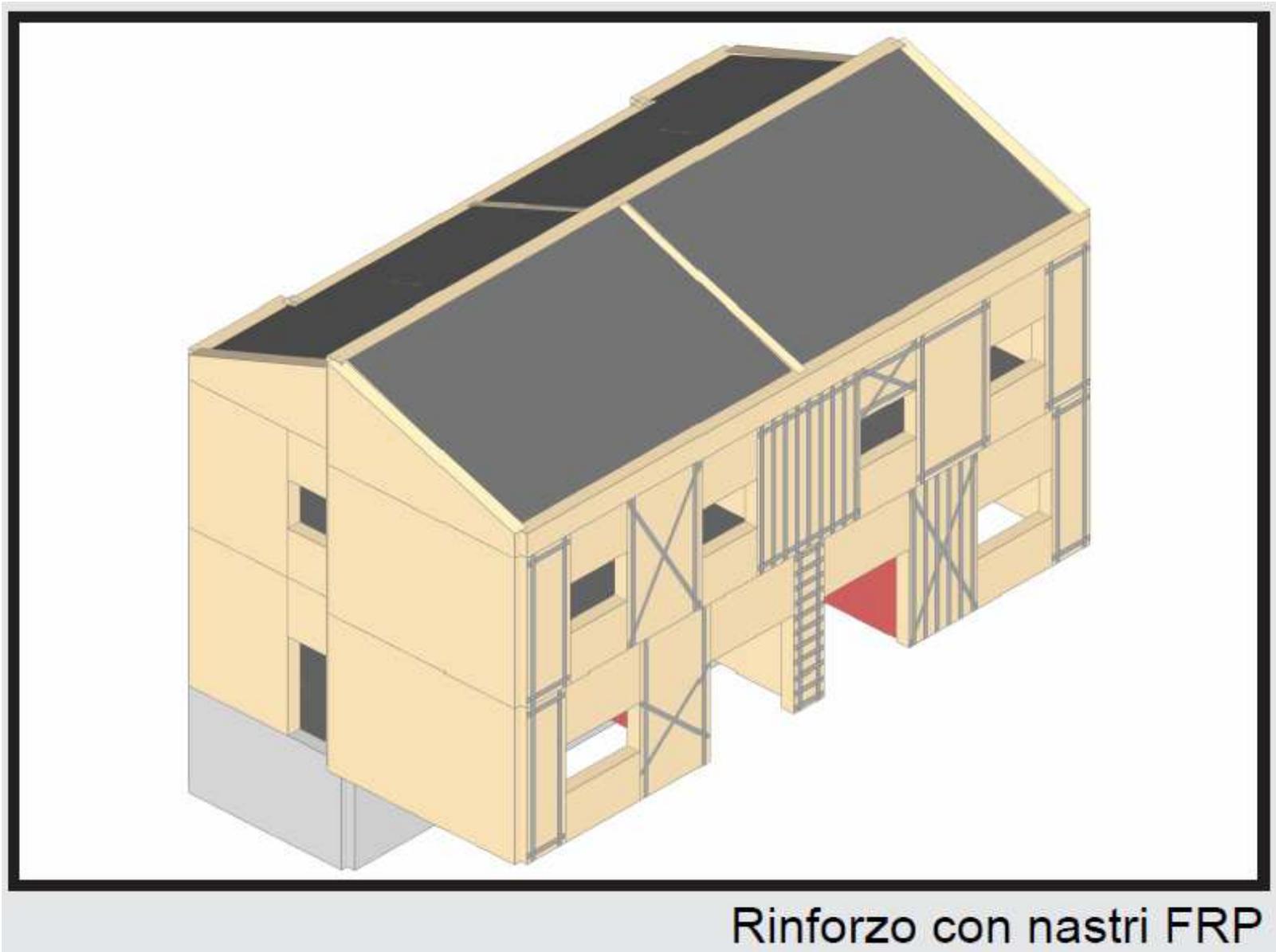
[Arteprima proprietà di calcolo](#)

E
Modulo di elasticità normale in N/mm²

Aggiungi Rimuovi OK

Attraverso i coefficienti correttivi dei parametri meccanici e delle resistenze è possibile descrivere ad es. l'intervento di iniezioni di particolari malte. In alternativa, si potrà comunque definire un apposito materiale murario con i parametri corrispondenti all'intervento

INTERVENTI DI NUOVA GENERAZIONE





Presidio antidelaminazione FRP. Iniezioni con malta a base di calce
da documentazione di KIMIA

Il **presidio antidelaminazione per i nastri in FRP** è molto importante:
si tratta di ancoraggi che consentono al nastro di sviluppare
la forza di trazione corrispondente al materiale.

Nella legge costitutiva utilizzata per generare i domini di resistenza,
per la deformazione di progetto è così possibile fare riferimento
alla deformazione di rottura anziché a quella corrispondente alla delaminazione

RINFORZI IN FRP e MODELLAZIONE NEL SOFTWARE

The screenshot displays the Aedes.PCM 15 software interface. The main window shows a 3D model of a wall structure with FRP reinforcement. The reinforcement is applied in two ways: as strips along the edges (pressoflessione) and as diagonal strips (taglio). The wall is shown in a perspective view, with the FRP strips highlighted in red and yellow. The software interface includes a menu bar, a toolbar, and a project tree on the left. The right panel shows the properties for 'Asta 9'.

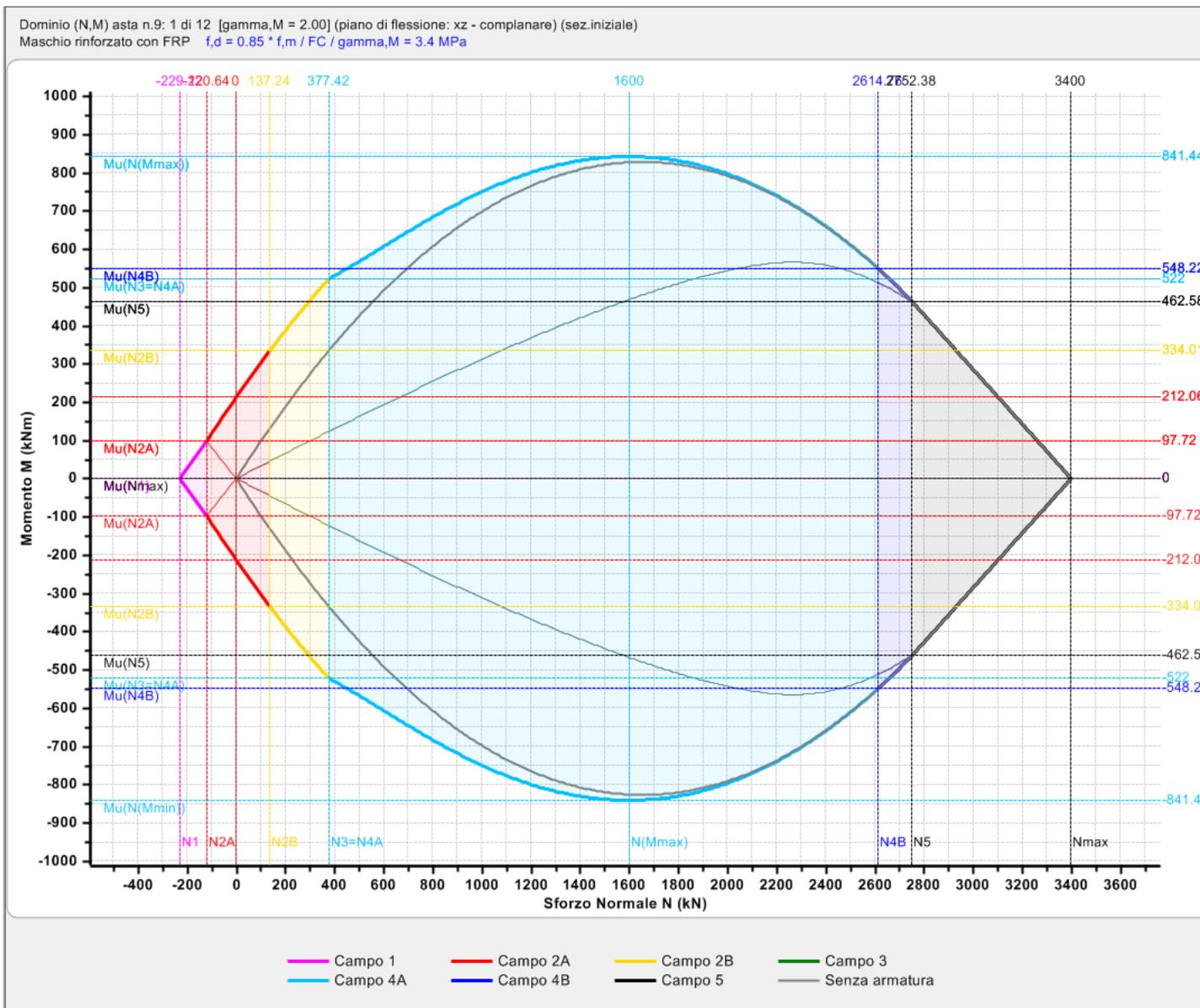
Proprietà
Asta 9

- Interventi
 - Iniezioni: No
 - Diatoni artificiali: No
 - Altri interventi: FRP
- Rinforzo a taglio
 - Passo: 8.60
- Intonaco armato
 - Spessore: 106
 - Peso specifico: 500
- Precompressione
 - Precompressione verticale: 8.60
 - Precompressione orizzontale: 8.60
- FRP
 - Nastri a pressoflessione: Solo ai bordi
 - Numero strati: 1
 - Distanza bordo: 50
 - Passo: 8.60
 - e distacco iniziale: 8.60
 - e distacco finale: 8.60
 - Nastri a taglio: In base al passo
 - Layout: Su luce deformabile
 - Numero strati: 1
 - Distanza bordo: 106
 - Passo: 500
 - e distacco: 8.60
- CAM
- Reticolatus
- Reti FRP e altro
 - E
 - G
 - f,m
 - $\tau,0$
 - f,tm
 - f,hm

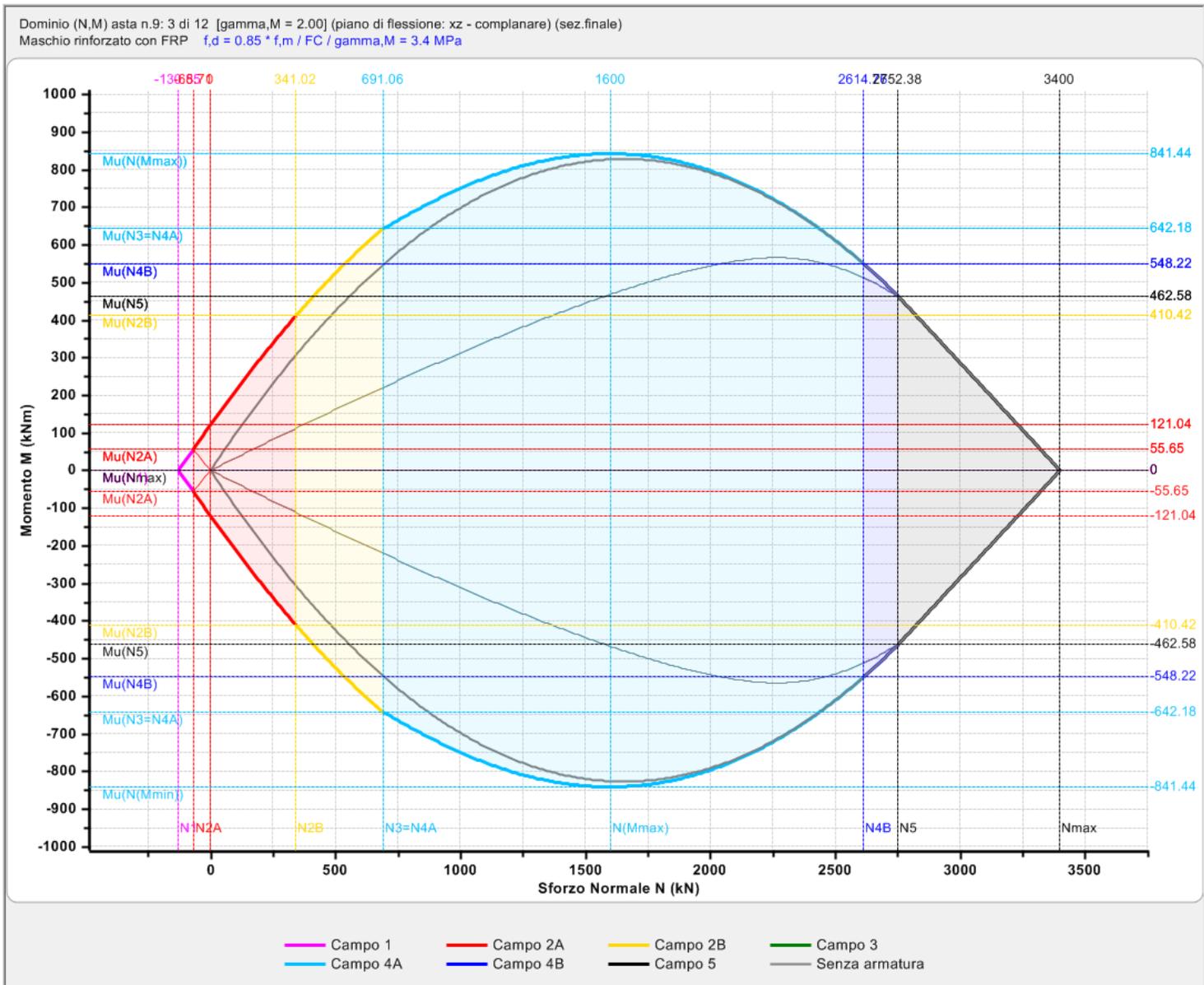
Proprietà meccaniche: Domini di resistenza

Nastri a pressoflessione

Parete con **rinforzi a pressoflessione e a taglio**. Nell'esempio, ancoraggio solo alla base



Dominio di resistenza per **sezione iniziale (ancoraggio)**. N traz. lim.= 229 kN



Dominio di resistenza per **sezione con delaminazione**: N traz. lim.= 130 kN

Parametri di Calcolo

OK Annulla Reimposta Importa ?

Generale Sismica Modale Muratura Analisi Verifiche Pushover (1) Pushover (2) Muratura armata Calcestruzzo armato **Interventi**

Rinforzi a Taglio

Armatura orizzontale (nei giunti) (il passo è una proprietà delle singole aste)
 Sezione totale delle barre A_{sw} (mm²) = 25 f_{yd} (= f_{yk} / γ_s) per l'armatura orizzontale = 391.3

FRP

Composito FRP: modello elastico - lineare fino a rottura (tensioni in N/mm², deformazioni in ‰)

Tipo di applicazione [LG 2009, §2.4.1]: A B ⇒ Coefficienti parziali [DT200, §3.4.1]: SLU del materiale FRP: γ_f = 1.10 distacco dal supporto: γ_{fd} = 1.20

Modulo di elasticità normale nella direzione delle fibre E_f = 230000 Deformazione caratteristica a rottura per trazione ϵ_{fk} = 17.50

Fattore di conversione ambientale η_a [DT200, §3.5.1] = 0.95 ⇒ Deformazione di calcolo a rottura per trazione: ($\eta_a \epsilon_{fk} / \gamma_f$) = 15.10

Sezione del singolo nastro (mm): spessore t_f = 0.165 larghezza b_f = 100.0 Raggio di curvatura per confinamento R (mm) = 50

Angolo d'attrito dei corsi di malta φ [DT200, §5.4.1.2.2] (°) = 30.0

CAM

Reticolatus

Acciaio per rinforzo pilastri

Acciaio strutturale per cerchiatura e rinforzo longitudinale di pilastri in muratura (tensioni in N/mm², deformazioni in ‰)

Tensione di snervamento: caratteristica f_{yk} = 235 di calcolo $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 223.8$ ($\gamma_s = 1.05 \Rightarrow f_{yd} = 223.8$)

Limite per la deformazione ultima ϵ_{ud} = 10.00 Modulo di elasticità E_s = 210000 Deformazione di snervamento $\epsilon_{yd} = (f_{yd} / E_s) = 1.07$

Per cerchiatura (fasce, o calastrelli)

Sezione della singola fascia (mm): spessore t_f = 2.0 larghezza b_f = 50.0

Eventuale raggio di curvatura degli spigoli R (mm) = 40 (per angolare di lato l e spessore t : $R = \min\{l, 5t\}$)

Per rinforzo longitudinale (angolari agli spigoli)

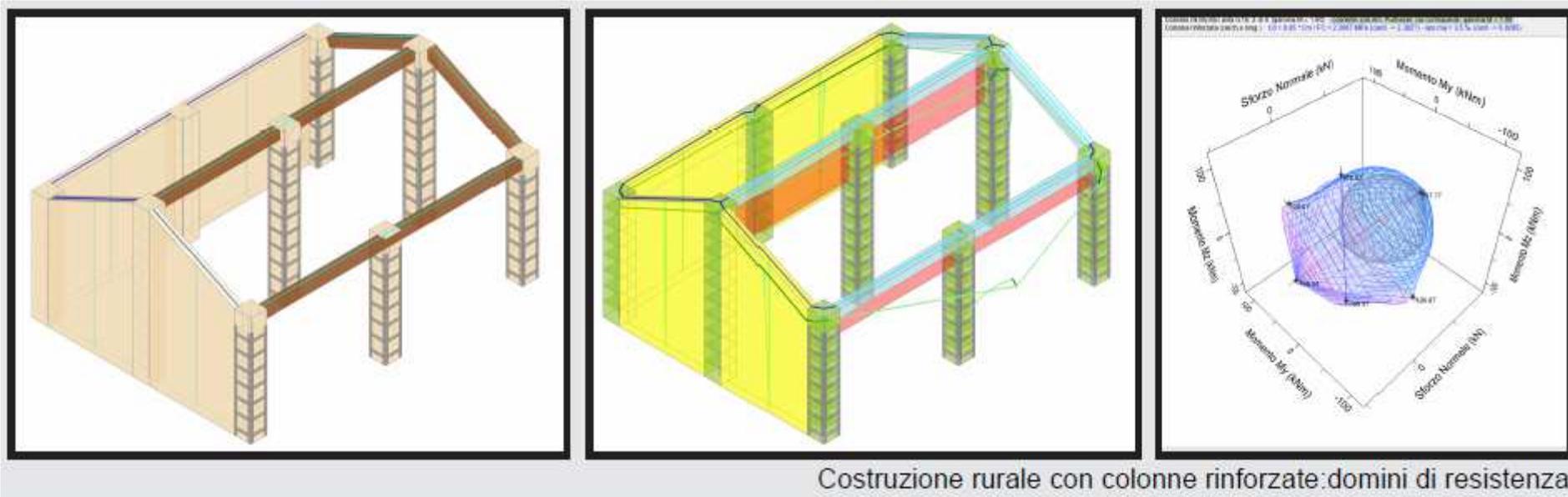
Larghezza dell'ala (mm): $l = 80.0$ spessore $s = 8.0$

Parametri di calcolo generali relativi all'intervento con FRP

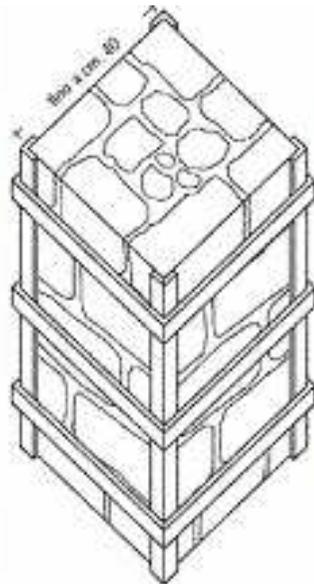
The screenshot displays the Aedes.PCM 2015 software interface. The main window shows a 3D model of a building with a yellow FRP reinforcement strip applied to its exterior. A red arrow points from the 'Rinforzi' button in the software toolbar to the reinforcement strip. The right sidebar shows properties for 'Nastro 5860'.

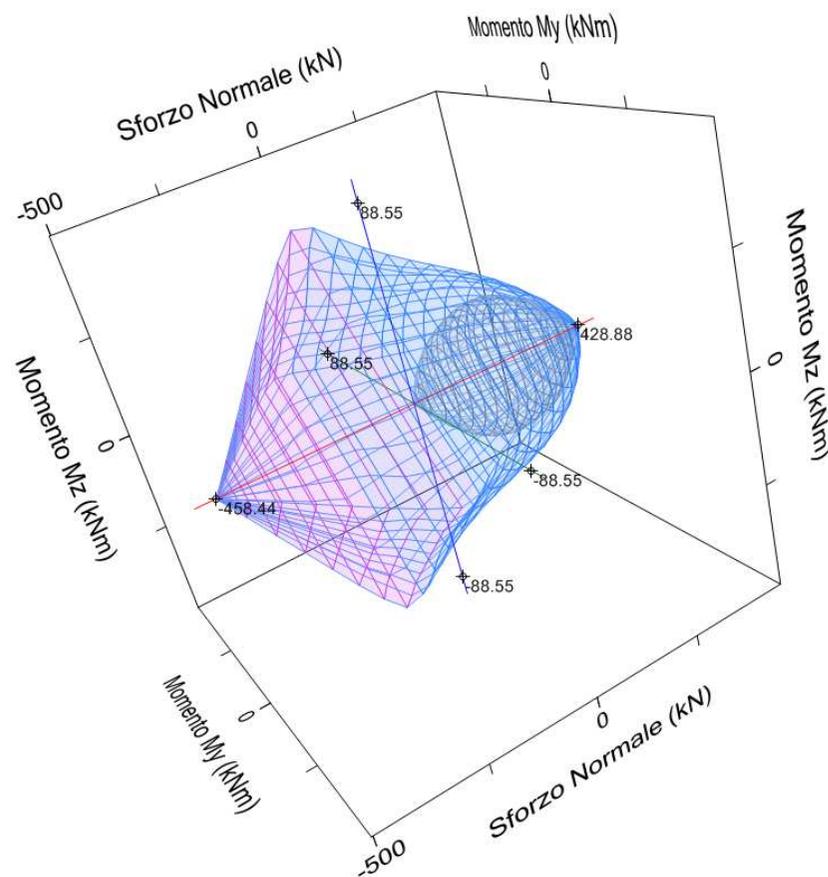
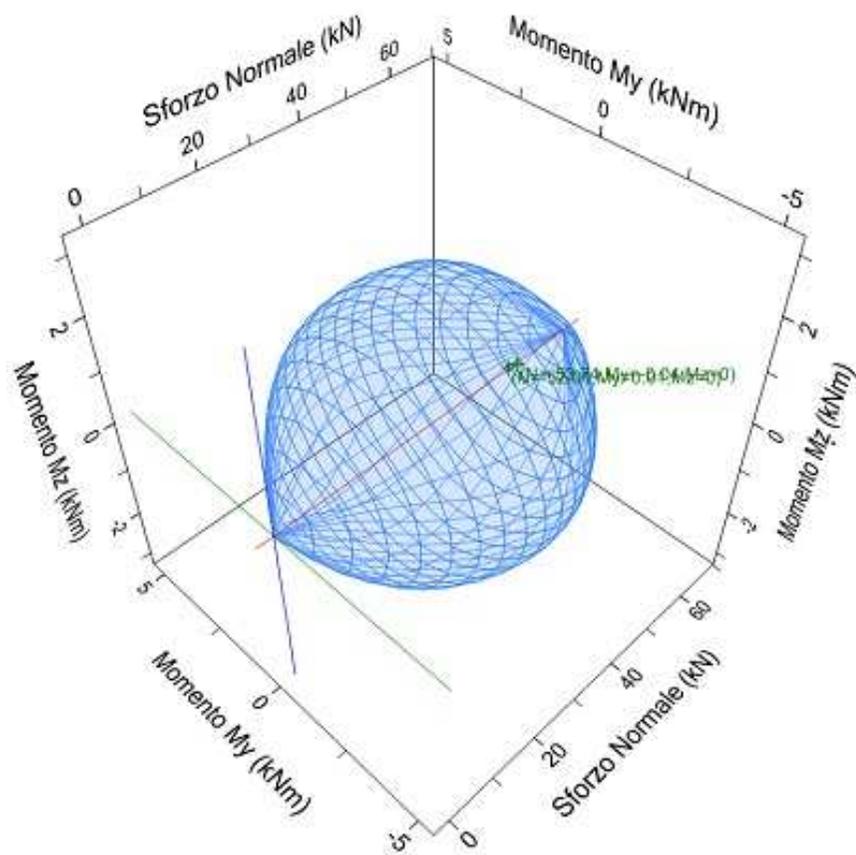
Proprietà	
Nastro 5860	
Generale	
Tipologia	FRP
FRP	
Numero strati	1
Larghezza	100
Spessore	0,165
E	230000
ϵ rottura	15,10
ϵ distacco	
Trazione di rottura	57,305
Trazione di distacco	
Trazione di calcolo	57.000
Acciaio	
Larghezza	
Spessore	
fyd	
Trazione di snervamento	
Trazione di calcolo	

Consolidamento con **nastro perimetrale esterno in FRP** (presidio nei confronti dei meccanismi di collasso)



Cerchiatura di pilastri murari con FRP





Dominio di resistenza per verifica a pressoflessione di un pilastro murario

A sinistra: pilastro non consolidato.

A destra: consolidato con cerchiatura e nastri longitudinali in FRP

● **Effetti della cerchiatura** (rinforzo trasversale): confinamento -> aumento resistenza a compressione e deformazione ultima della muratura. Il dominio si espande nella zona a maggiore compressione. Indicato per colonne fortemente compresse (particolarmente efficace per il comportamento statico)

● **Effetti del rinforzo longitudinale**: aumento di resistenza a trazione e quindi a flessione; indicato per colonne poco compresse oppure soggette ad azioni orizzontali (particolarmente efficace per il comportamento sismico). Gli ancoraggi consentono il pieno sfruttamento delle capacità delle fibre

⇒ Con i nuovi valori di: resistenza a compressione - deformazione ultima della muratura - capacità resistente a trazione delle fibre, viene generato il dominio di resistenza allo **Stato di Progetto**, che presenterà un incremento dei coefficienti di sicurezza corrispondenti agli stati di sollecitazione previsti

Rinforzo FRP per un arco: i nastri, in intradosso e/o in estradosso, forniscono resistenza a trazione impedendo o ritardando la formazione delle cerniere tipiche dei meccanismi di collasso delle strutture voltate

The screenshot displays the Aedes.PCM 2015 software interface. The central 3D model shows a two-arch structure with FRP reinforcement strips applied to the intrados and extrados. The properties panel on the right provides detailed information for the selected element (Asta 328).

Proprietà	
Asta 328	
Caratteristiche	
Tipologia	Blocco
Da analizzare	Si
Piano	Piano 1
Lunghezza	0.365
Direzione	0.257, 0.000, -0.967
Colore	211; 211; 211
Sezione	1000x300
Materiale	Blocchi e giunti
Rigidità fessurata	100
Infinitamente rigida	No
Caratteristiche costruttive	
Carico	
Carichi	1
Rinforzo	
Estradosso: Forza	0.000
Estradosso: Tipo	Passivo
Intradosso: Forza	10.000
Intradosso: Tipo	Passivo
Arco	
Raggio	2.150
Angolo	9.73°
Nodi	
Nodo iniziale i	266
Nodo finale j	267
Vincoli	
Tipo	Incastro-Incastro
Vincolo iniziale	000000
Vincolo finale	000000
Grado d'incastro iniziale	1.0, 1.0
Grado d'incastro finale	1.0, 1.0
Verifiche	
Da verificare	No
Compressione	No
Taglio	No
Trazione	No

Proprietà meccaniche: Domini di resistenza

Intradosso: Forza
Forza resistente a trazione in intradosso in kN

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

***Recupero strutturale del patrimonio edilizio:
dalla progettazione al collaudo***

con il contributo di:



Firenze, 5 maggio 2015

Ing. Francesco Pugi



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Per ulteriori informazioni: **info@aedes.it**