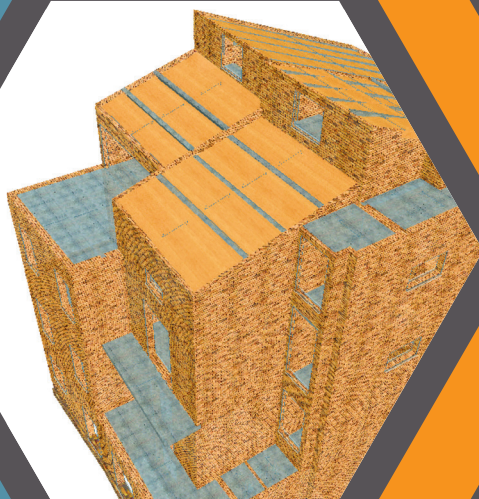




MICHELE ALTILIA

ANALISI FEM DI EDIFICI IN MURATURA IN AGGREGATO EDILIZIO

MODELLAZIONE, ANALISI
E CONSULTAZIONE CRITICA DEI RISULTATI



SOFTWARE INCLUSO
CON SISTEMA G-CLOUD

Michele Altilia

ANALISI FEM DI EDIFICI IN MURATURA IN AGGREGATO EDILIZIO

Ed. I (11-2020)

ISBN 13 978-88-277-0191-1

EAN 9 788827 701911

Collana **Manuali** (260)



Prima di attivare Software o WebApp inclusi
prendere visione della licenza d'uso.

Inquadrare con un reader il QR Code a fianco
oppure collegarsi al link <https://grafill.it/licenza>

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

CONTATTI IMMEDIATI



ProntoGRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Finito di stampare presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l. – Bagheria (PA)**

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE ALL'ANALISI STRUTTURALI

DI EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

a cura dell'Ing. Francesco Pugi	p.	9
1.1. Storia costruttiva.....	"	9
1.2. Effetti stabilizzanti e instabilizzanti lungo la direzione della schiera	"	11
1.3. Criteri di modellazione delle unità strutturali.....	"	11

2. PROGETTO DI EDIFICIO

IN AGGREGATO EDILIZIO	"	14
2.1. Descrizione generale del contesto di inquadramento dell'opera.....	"	14
2.2. Tipologia di intervento e descrizione generale della struttura.....	"	14
2.3. Livello di conoscenza delle murature	"	14
2.4. Caratteristiche meccaniche della muratura oggetto di miglioramento sismico	"	18

3. NORMATIVA TECNICA

E RIFERIMENTI TECNICI.....	"	28
3.1. Norme di riferimento cogenti	"	28

4. RELAZIONE SUI MATERIALI.

DESCRIZIONE DEI MATERIALI

E DEI PRODOTTI PER USO STRUTTURALE – ELAB. 2.....	"	31
4.1. Acciaio da carpenteria metallica.....	"	31
4.1.1. Procedure e prove sperimentali di accettazione	"	36
4.1.2. Cls armato per opere di fondazione e consolidamento	"	38
4.1.3. Legno strutturale.....	"	43
4.1.4. Leca strutturale per consolidamento solai	"	43
4.1.5. Fibra di vetro per consolidamento pannelli murari	"	45
4.1.6. Planitop HPC per consolidamento massetto strutturale e risanature	"	48

5. CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE	p.	52
6. ANALISI DEI CARICHI E PARAMETRI DI PROGETTO PER L'AZIONE SISMICA.....	"	59
6.1. Azione sismica.....	"	59
6.2. Carico accidentale neve	"	61
6.2.1. Carico accidentale neve in accumulo su terrazza	"	64
6.3. Carichi statici elementari su solai stato di fatto	"	65
6.4. Carichi statici elementari su solai stato di progetto	"	70
6.5. Carichi aggiuntivi per unità strutturali in aggregato edilizio – NTC 2018 – Aggregati edilizi (C8.7.1.3.2)	"	74
6.6. Aggregato edilizio. Carichi provenienti da paramenti murari adiacenti	"	75
6.7. Metodo di verifica e combinazione delle azioni	"	82
7. CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO	"	93
7.1. Condizioni al contorno U.S. ed impostazioni di base modello di calcolo.....	"	106
8. ANALISI GEOTECNICA DELLE FONDAZIONI.....	"	108
8.1. Caratteristiche geologiche del terreno	"	108
8.2. Progettazione per azioni sismiche. Verifica dello stato limite ultimo (slu)	"	110
8.3. Verifica alla liquefazione	"	111
8.4. Modulo di sottofondo	"	112
8.5. Vincolamento in fondazione.....	"	112
8.6. Verifica delle pressioni di contatto fondazione.....	"	113
9. CONDIZIONE AL CONTORNO SUI MASCHI MURARI IN ADIACENZA.....	"	115
9.1. Vincolamento solai e aste (stato di fatto).....	"	115
9.2. Vincolamento solai e aste (stato di progetto).....	"	115
9.3. Rigidezza dei maschi murari	"	120
10. PROCEDURA E METODI DI ANALISI ESEGUITE	"	123
11. ANALISI MODALE	"	128
11.1. Analisi dello stato di fatto.....	"	128
11.2. Analisi dello stato di progetto.....	"	130

12. CATEGORIA DI INTERVENTO PREVISTO E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI ADOTTATI.	
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO	p. 132
12.1. Intervento di miglioramento sismico delle strutture.....	" 132
13. VERIFICA MECCANICA STRUTTURALE	
DEGLI INTERVENTI SISMICI	" 141
13.1. Verifica strutturale cerchiature in carpenteria metallica	" 141
13.2. Verifica strutturale consolidamento solaio Varese P1	" 144
13.3. Verifica strutturale nuovo solaio in legno con connettori e innesti	" 148
13.4. Verifica strutturale solaio di copertura.....	" 150
14. ANALISI E CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI.....	" 156
14.1. Sollecitazioni statiche non sismiche stato di fatto	" 156
14.2. Sollecitazioni statiche non sismiche stato di progetto	" 157
15. VERIFICA IN ANALISI CINEMATICA	" 159
15.1. Meccanismi del secondo ordine cinematico	" 159
15.2. Analisi cinematica stato di fatto	" 160
15.3. Analisi cinematica stato di progetto.....	" 163
16. ANALISI STATICA NON LINEARE PUSHOVER	" 166
16.1. Pushover stato di fatto	" 166
16.2. Pushover stato di progetto	" 176
17. RISULTATO DELLE ANALISI E VALIDITÀ DELL'INTERVENTO	" 195
18. PROCEDURE PER IL CALCOLO DELLA PERDITA ANNUALE MEDIA (PAM) IN EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA.....	" 205
18.1. Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni (D.M. 28 febbraio 2017 con successiva integrazione del 7 marzo 2017).....	" 206
18.1.1. Introduzione.....	" 206
18.1.2. Attribuzione delle Classi di Rischio	" 208
18.1.3. Metodo convenzionale.....	" 208
18.1.4. Metodo semplificato	" 212
18.1.5. Interventi e relativo passaggio di classe di rischio	" 214
18.1.6. Metodo convenzionale.....	" 214
18.1.7. Metodo semplificato	" 214

18.2. PAM – Analisi dello stato di fatto.....	p.	217
18.3. PAM – Analisi dello stato di progetto.....	"	219
18.4. Conclusioni valutazione PAM	"	220
19. PIANO DI MANUTENZIONE		
DELLA PARTE STRUTTURALE ELAB. 3	"	221
19.1. Premessa	"	221
19.2. Descrizione dell'opera.....	"	221
19.3. Manuale d'uso	"	221
19.4. Manuale di manutenzione.....	"	225
20. IL SOFTWARE INCLUSO	"	232
20.1. Note sul software Aedes.PCM.....	"	232
20.2. La software-house Aedes.....	"	233
20.3. Requisiti di sistema.....	"	234
20.4. Richiesta della password di attivazione del software	"	235
20.5. Installazione ed attivazione del software.....	"	235
20.6. Assistenza tecnica sui prodotti Grafill (TicketSystem).....	"	235
RIFERIMENTI NORMATIVI	"	236
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	"	237

INTRODUZIONE ALL'ANALISI STRUTTURALI DI EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

a cura dell'Ing. Francesco Pugi

Il lavoro proposto dell'Ing. Michele Altilia costituisce un'importante opera di condivisione delle scelte progettuali relative ad una tipologia di edifici in muratura particolarmente importante per il patrimonio edilizio esistente: l'aggregato edilizio.

In tale configurazione, l'edificio oggetto di studio non è un organismo indipendente ed isolato ma è costituito da una unità strutturale adiacente ad altre unità ed a loro variamente connessa attraverso un interscambio e un'interazione su geometrie, materiali, carichi, masse e vincoli.

Se l'analisi di un edificio esistente in muratura costituisce una delle sfide più interessanti per un ingegnere strutturista, per un edificio collocato in un aggregato il livello della sfida sale fino a richiedere un grande sforzo di comprensione e una notevole capacità di formulare più ipotesi di lavoro. Occorre infatti focalizzare la configurazione statica più convincente ed in grado di fornire un'efficace risposta sulle vulnerabilità strutturali e sugli interventi di consolidamento finalizzati a contrastarle (Miglioramento) ovvero a risolverle (Adeguamento).

L'Autore descrive in dettaglio le diverse fasi dell'iter progettuale, ancorato alla Normativa tecnica di riferimento: a partire dall'indagine sulla costruzione – finalizzata a raggiungere un adeguato livello di conoscenza – vengono trattati i diversi aspetti riguardanti il perfezionamento dell'input in particolare su: materiali, carichi applicati, condizioni sul vincolamento, assetto geotecnico e sistema di fondazione, per lo Stato di fatto e per lo Stato di progetto. Successivamente, vengono illustrati i risultati delle elaborazioni di calcolo, con definizione di un percorso di consolidamento che si inquadra nell'Intervento di Miglioramento.

Rinviando quindi alla consultazione dei capitoli elaborati dall'Autore, si ritiene qui opportuna una sintesi su alcuni dei principali aspetti riguardanti l'analisi strutturale di una costruzione appartenente ad un aggregato edilizio. Il lettore saprà contestualizzare: ogni edificio in aggregato è infatti un caso a sé stante, ma le condizioni al contorno che determinano i comportamenti strutturali negli aggregati seguono schemi catalogabili. Da un particolare progetto è quindi possibile trarre indicazioni utili in campo professionale per altre applicazioni, ed è in questi ambiti che il lavoro dell'Ing. Michele Altilia costituisce un prezioso riferimento.

1.1. Storia costruttiva

L'approccio conoscitivo verso un aggregato edilizio inizia dalla sua storia costruttiva. Gli aggregati infatti si sono strutturati attraverso un processo di accrescimento. Le unità edilizie venivano costruite affiancandosi alle costruzioni preesistenti, di cui sfruttavano il muro di confine. La chiusura di un cortile generava un'unità interna con soli due paramenti di

chiusura; per una testata ne erano sufficienti tre. Ne derivavano di fatto geometrie strutturali raramente “chiuse”, cioè scatolari con quattro perimetri murari fra loro ammassati. Chiaramente, la diversità dell’epoca di realizzazione poneva a contatto tra loro materiali murari eterogenei, e, pur nel rispetto della tradizione costruttiva locale, pareti limitrofe si trovavano in condizioni oggettivamente diverse, ad esempio per le fessurazioni ed i processi deformativi, e talvolta degradanti nell’intimo della materia, che già potevano aver segnato le muraure preesistenti.

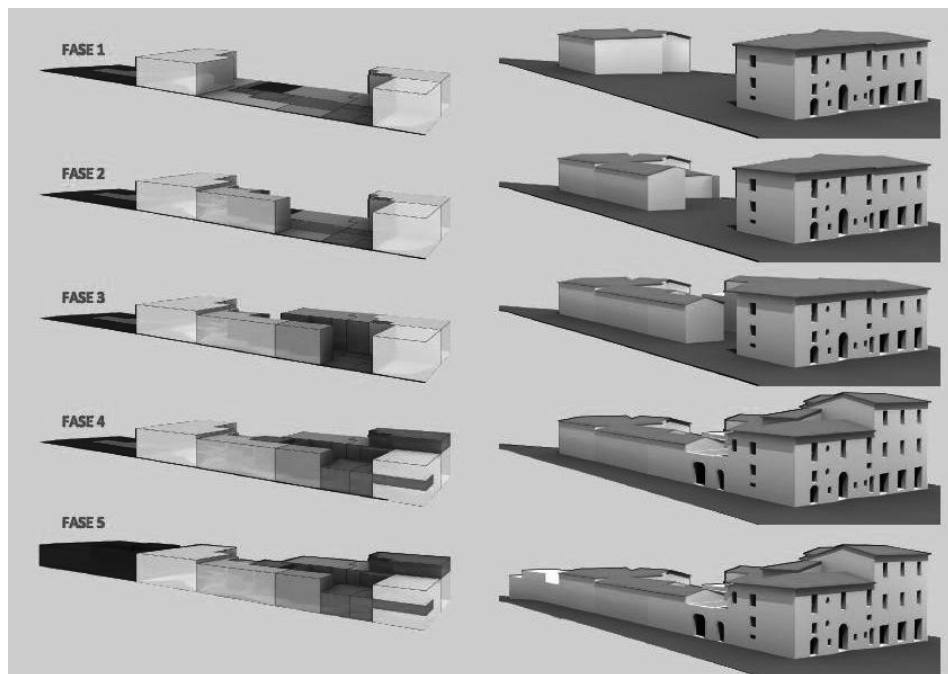


Figura 1.1. Fonte: *Linee guida per il rilievo, l’analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato* (Reluis, 2010)

La conoscenza delle tipologie costruttive e dello stato di conservazione dei collegamenti è quindi fondamentale per ipotizzare schemi statici con condizioni di vincolo realistiche.

La ricostruzione dei meccanismi di accrescimento dell’aggregato permette l’identificazione delle caratteristiche delle varie unità strutturali (US).

Secondo la Normativa vigente (NTC 2018, § 8.7.1) «nell’analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio, infatti, occorre tenere conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti. A tal fine dovrà essere individuata l’unità strutturale (US) oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue».

Dalla Circolare n. 7/2019 (§ C8.7.1.3.2): «Un aggregato edilizio di edifici è il risultato di una genesi articolata e sovente non unitaria, dovuta a molteplici fattori (sequenza costrut-

PROGETTO DI EDIFICIO IN AGGREGATO EDILIZIO

2.1. Descrizione generale del contesto di inquadramento dell'opera

L'edificio, situato nel centro storico di una città del Nord Italia, in zona sismica di III categoria, secondo quanto indicato dalle normative vigenti a cui fa riferimento la presente in ogni sua parte. L'edificio sorge su una zona pianeggiante.

Il fabbricato non irregolare in pianta ed in altezza è composto da tre piani fuori terra più sottotetto a due falde, con zone soppalcate e soffittate.

Ha una struttura formata da pareti portanti a due teste, (talvolta costituite da due teste affiancate non interconnesse); i solai di piano sono realizzati con in travi di c.a.p. e tavelloni (tipo *Varese*), o con travi in legno e tavelloni; il solaio di copertura è in travi di c.a.p. e tavelloni (tipo *Varese*). Le rampe della scala sono realizzate con una soletta in c.a..

La struttura è a poche centinaia di metri dal centro storico Carpi (*cfr.* figura 2.1).

2.2. Tipologia di intervento e descrizione generale della struttura

L'intervento si prefigge come di miglioramento sismico, con una valutazione finale del PAM, ossia la perdita media annua attesa.

La committenza ha scelto di procedere con la valutazione della sicurezza dell'immobile e di operare con l'intervento di miglioramento sismico finale.

La struttura, a seguito di vari rilievi, si dimostra fatiscente all'interno, con presenza di nicchie nascoste nelle sottofinestra, murature portanti ad una testa, murature con disposizione in foglio e/o murature sconnesse e scollegate nelle varie direzioni. I solai risultano essere scollegati non rigidi nel piano e le fondazioni mostrano alcune lacune e criticità.

Di seguito si riportano gli stralci delle tavole di rilievo strutturale e gli stralci delle tavole di progetto.

2.3. Livello di conoscenza delle murature

I fattori di confidenza sono utilizzati per la riduzione dei valori dei parametri meccanici dei materiali e devono essere intesi come indicatori del livello di approfondimento raggiunto.

Limitatamente al caso di verifiche in condizioni non sismiche di singoli componenti (ad esempio solai sui quali siano state condotte indagini particolarmente accurate) oppure di verifiche sismiche nei riguardi dei meccanismi locali, è possibile adottare livelli di conoscenza differenziati rispetto a quelli impiegati nelle verifiche sismiche globali.



Figura 2.1. Zoom dell'edificio oggetto di miglioramento sismico.
La parte cerchiata evidenzia il fabbricato

NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI TECNICI

3.1. Norme di riferimento cogenti

- **Legge 5 novembre 1971, n. 1086** – *Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64** – *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- **D.M. 17 gennaio 2018** – *Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni» (qui indicate con NTC).*
- **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7/2019** – *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- **D.G.R. n. 1373/2011 (Regione Emilia Romagna)** – *Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'articolo 12, comma 1, e dell'articolo 4, comma 1, della L.R. n. 19 del 2008.*
- **UNI Dipartimento Protezione civile, ReLUIS** – *Commissario Delegato Messa in Sicurezza dei Beni Culturali «Linee guida per il rilievo, l'analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato».*
- **Edifici monumentali** – *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011 recante «Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008», di cui costituisce parte integrante la Circolare n. 26 del 2 dicembre 2010 del Ministero per i Beni e le Attività Culturali recante «Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale».*
- **FRP** – *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati,*

CNR-DT 200 R1/2012. *Linee guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP, documento approvato il 24 luglio 2009 dall'assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.*

- **Indirizzi per l'esecuzione degli interventi di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3790 del 17 luglio 2009** (*Riparazione con miglioramento sismico di edifici danneggiati*), a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Commissario Delegato (Eventi sismici provincia di L'Aquila, 6 aprile 2009).
- **Riferimenti tecnici: EuroCodici** – Per quanto non diversamente specificato nel D.M.14.1.2008, si intendono coerenti con i principi alla base del Decreto le indicazioni riportate nei documenti di riferimento elencati in §12; fra questi: gli EuroCodici strutturali, così organizzati:
 - Criteri generali di progettazione strutturale;
 - UNI EN 1990:2006.
- **Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture**
 - UNI EN 1991-1-1:2004 (*Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici*).
 - UNI EN 1991-1-3:2004 (*Parte 1-3: Azioni in generale – Carichi da neve*).
 - UNI EN 1991-1-4:2005 (*Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento*).
- **Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo**
 - UNI EN 1992-1-1:2005 (*Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*).
- **Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio**
 - UNI EN 1993-1-1:2005 (*Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*).
- **Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture in legno**
 - UNI EN 1995-1-1:2005 (*Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici*).
- **Eurocodice 6 – Progettazione delle strutture in muratura**
 - UNI EN 1996-1-1:2006 (*Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata*).
 - UNI EN 1996-2:2006 (*Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature*).
 - UNI EN 1996-3:2006 (*Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata*).
- **Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica**
 - UNI EN 1997-1:2005 (*Parte 1: Regole generali*).
 - UNI EN 1997-2:2007 (*Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo*).

RELAZIONE SUI MATERIALI.**Descrizione dei materiali e dei prodotti per uso strutturale – Elab. 2****4.1. Acciaio da carpenteria metallica**

Salvo diversa indicazione si dovranno utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 (per i laminati) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la marcatura CE. Nelle calcolazioni statiche sono stati impiegati i seguenti valori:

Acciaio tipo S275JR				
Descrizione	Valori		Note	NTC
Modulo elastico	E	210000	N/mm ²	UNI EN 10025
Modulo di elasticità trasversale	$G = E/[2(1+\nu)]$	80769	N/mm ²	
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	–	
Peso Specifico	P	78.50	KN/m ³	
Coefficiente di sicurezza	γ_m	1,05		Tab. 4.2.VII
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	275	N/mm ²	Tab. 4.1
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	360	N/mm ²	

In sede di progettazione, sono stati assunti i dati sintetizzati nelle seguenti tabelle.

Tabella 4.1. Laminati a caldo con profili a sezione aperta piani e lunghi [Tab. 4.2.I, NTC 2018]

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale «t» dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450

[segue]

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale «t» dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	580
UNI EN 10025-5 S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490

Tabella 4.2. Laminati a caldo con profili a sezione cava [Tab. 4.2.II, NTC 2018]

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale «t» dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10210-1 S235 H	235	360	215	340
S275 H	275	430	255	410
S355 H	355	510	335	490
S275 NH/NLH	275	390	255	370
S355 NH/NLH	355	490	335	470
S420 NH/NLH	420	540	390	520
S460 NH/NLH	460	560	430	550
UNI EN 10219-1 S235 H	235	360		
S275 H	275	430		
S355 H	355	510		
S275 NH/NLH	275	370		
S355 NH/NLH	355	470		
S275 MH/MLH	275	360		
S355 MH/MLH	355	470		
S420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		
S460 NH/NHL	460	550		

Caratteristiche meccaniche saldature e processo

La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2001. Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale di base. Nell'esecuzione delle saldature dovranno essere rispettate le norme UNI EN 1011:2005 parti 1 e 2 per gli acciai ferritici e della parte 3 per gli acciai inossidabili. Per la preparazione dei lembi si applicherà, salvo caso particolari, la norma UNI EN ISO 9692-1:2005.

CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE

I metodi agli elementi finiti costituiscono il nucleo operativo di tutti i metodi moderni di analisi strutturale. Anche il *metodo Por* illustrato al capitolo precedente è, in effetti, un'applicazione del metodo agli elementi finiti: i maschi murari sono *aste* collegate in sommità da travi infinitamente rigide, e incastrate alla base.

Più in generale, un edificio in muratura può essere rappresentato da un insieme di elementi monodimensionali verticali e orizzontali, fra loro collegati nei nodi. Viene così a costituirsi un reticolo ad elementi finiti, in modo del tutto analogo alla schematizzazione dei telai in acciaio o in cemento armato.

Vi sono numerosi vantaggi nell'adozione del metodo con elementi monodimensionali: è pur vero che la muratura è formata da strutture a sviluppo superficiale, ma la modellazione bidimensionale è molto impegnativa dal punto computazionale. Inoltre, richiede algoritmi ad elementi finiti in grado di tener conto della non linearità del materiale e della non resistenza a trazione, caratteristiche di analisi molto più agevolmente implementate nel modello semplificato a telaio. In aggiunta, si consideri che tutte le verifiche di resistenza vengono svolte integrando le tensioni sulla sezione trasversale della parete (per ottenere sforzo normale, taglio, momento flettente) e quindi di fatto ci si riconduce a caratteristiche di sollecitazione che nel modello a telaio sono invece direttamente fornite dall'analisi. Ma l'osservazione più importante consiste nella possibile illusione di risultati più precisi con modelli più sofisticati: in effetti, il problema della schematizzazione della muratura è legato alla conoscenza corretta dei parametri meccanici in gioco, oltre che delle situazioni di geometria, vincoli e carichi; e soprattutto per gli edifici esistenti può essere fuorviante associare modelli troppo accurati a parametri incerti. Oltretutto, la geometria irregolare degli edifici esistenti viene descritta con grande difficoltà da elementi bidimensionali che in genere hanno spesso costante e devono raccordarsi nei nodi d'angolo.

Per tutta questa serie di motivi, il modello a telaio equivalente è visto favorevolmente anche dalle più recenti indicazioni normative, e può costituire una base importante per la definizione di un metodo comprensibile a pieno in ogni suo aspetto, inclusi i vari passi eseguiti durante l'analisi non lineare. Sul modello a telaio equivalente per gli edifici in muratura, si segnala l'importante lavoro edito dal Gruppo Nazionale per la Difesa Terremoti

Nella **figura 5.1**, l'edificio in muratura è schematizzato con un modello tridimensionale agli elementi finiti; in figura viene evidenziato come il modello sia riconducibile a un assemblaggio di telai piani, dove ogni telaio rappresenta un paramento murario verticale. Le aste verticali sono i maschi murari, quelle orizzontali le fasce di piano (o *strisce*).



Figura 5.1. Fonte: Software Aedes.PCM (www.aedes.it)

Questo modello strutturale rappresenta in modo adeguato la distribuzione di massa e rigidezza effettiva, attraverso elementi resistenti piani a telaio o a parete connessi da diaframmi orizzontali. Gli edifici regolari possono essere analizzati considerando due modelli piani separati, uno per ciascuna direzione principale; analisi 2D vengono anche eseguite nei casi di edifici con impalcati deformabili. Nel modello 3D, se i diaframmi orizzontali sono sufficientemente rigidi, i gradi di libertà possono ridursi a tre per impalcato, concentrando masse e inerzie rotazionali nel baricentro di piano.

Nella **figura 5.2** si illustra un particolare paramento murario (si tratta del prospetto frontale), e si evidenziano alcune caratteristiche della schematizzazione a telaio.

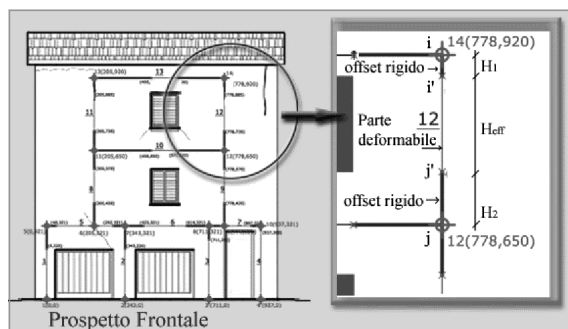


Figura 5.2. Fonte: Software Aedes.PCM (www.aedes.it)

Considerando che gli elementi nodo siano infinitamente rigidi e resistenti, è possibile modellarli numericamente introducendo tratti rigidi (offsets) alle estremità degli elementi maschio e fascia. Nel modello tridimensionale, i tratti rigidi devono poter essere definiti diversamente nei due piani di inflessione complanare e ortogonale alla parete; infatti, in generale, mentre per azioni complanari si considera l'irrigidimento di nodo corrispondente alle zone di intersezione maschio/fascia, invece per azioni ortogonali si adotta frequentemente un'altezza efficace (parte deformabile) pari all'altezza libera di interpiano.

CAPITOLO 6

ANALISI DEI CARICHI
E PARAMETRI DI PROGETTO PER L’AZIONE SISMICA

6.1. Azione sismica

Nello studio sono state prese in considerazioni e valutate oltre ai carichi permanenti e di servizio, l’azione sismica e le possibili altre azioni ambientali.

La *pericolosità sismica di base* è stata determinata ai sensi del § 3.2 delle NTC 2018, a partire dai parametri riportati. Seguono, in dettaglio, i carichi considerati nel calcolo.

Ubicazione del sito

Longitudine: 10.885788 Latitudine: 44.780679

Tipo di interpolazione: ☒ Media ponderata ([3] in §All. A) ☐ Superficie rigata [§CA]

Tab. 2, All. B:

Sito non in Tab. 2

Pericolosità sismica di base

T.R (anni)	a.g (g)	F.o	T.C* (sec)
30	0.043	2.516	0.250
50	0.054	2.508	0.267
72	0.064	2.487	0.270
101	0.076	2.464	0.273
140	0.090	2.505	0.267
201	0.106	2.561	0.268
475	0.154	2.578	0.270
975	0.206	2.526	0.280
2475	0.294	2.438	0.290

Figura 6.1. Microzonazione sismica

Risposta sismica locale

Approccio semplificato secondo Normativa

Categoria di sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Quota sito/Altezza rilievo: 0.000 [0≤(h/H)≤1]

Amplificazione topografica S_T: 1.000 (§3.2.3.2.1: S_T = 1.000)

T.R (anni)	Orizzontale			Verticale		
	a,max (g)	F.o	T.C (sec)	a,max (g)	F.v	T.C (sec)
30	0.065	2.516	0.415	0.043	0.704	0.150
50	0.081	2.508	0.433	0.054	0.787	0.150
72	0.096	2.487	0.437	0.064	0.849	0.150
101	0.114	2.464	0.440	0.076	0.917	0.150
140	0.135	2.505	0.433	0.090	1.015	0.150
201	0.159	2.561	0.434	0.106	1.126	0.150
475	0.225	2.578	0.437	0.154	1.366	0.150
975	0.286	2.526	0.447	0.206	1.548	0.150
2475	0.373	2.438	0.458	0.294	1.785	0.150

Figura 6.2. Parametri di progetto
che concorrono alla definizione dell’azione sismica di base del sito (1)

Vita nominale, Classe d'uso, Stati limite

Vita nominale (anni): $V_N =$ 50

Classe d'uso:

Classe II (normali affollamenti)

Coefficiente d'uso: $C_U = 1.0$

Periodo di riferimento per l'azione sismica (anni): $V_R = V_N * C_U = 50$

Probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R (Tab. 3.2.I)

Tempo di ritorno $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$

Stati Limite	P.VR (%)	T.R (anni)
SLO	81	30
SLD	63	50
SLV	10	475
SLC	5	975

Parametri di Spettro

Approccio semplificato secondo Normativa:

Stati Limite	T.R (anni)	Orizzontale							Verticale					
		a.g (g)	S.S	S	F.o	T.B (sec)	T.C (sec)	T.D (sec)	a.g (g)	S	F.v	T.B (sec)	T.C (sec)	T.D (sec)
SLO	30	0.043	1.500	1.500	2.516	0.138	0.415	1.772	0.043	1.000	0.704	0.050	0.150	1.000
SLD	50	0.054	1.500	1.500	2.508	0.144	0.433	1.816	0.054	1.000	0.787	0.050	0.150	1.000
SLV	475	0.154	1.462	1.462	2.578	0.146	0.437	2.216	0.154	1.000	1.366	0.050	0.150	1.000
SLC	975	0.206	1.388	1.388	2.526	0.149	0.447	2.424	0.206	1.000	1.548	0.050	0.150	1.000

Figura 6.3. Parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica di base del sito (2)

Spettro di risposta: componente orizzontale

Spettro elastico

Smorzamento viscoso $\xi =$ 5 (%) $\Rightarrow \eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} = 1.000$

Spettro di progetto - SLD

Fattore di comportamento $q =$ 1.000 $\Rightarrow \eta = 1/q = 1.000$

Spettro di progetto - SLV/SLC

Fattore di comportamento $q =$ 1.000 $\Rightarrow \eta = 1/q = 1.000$

α_U / α_T (secondo §C8.5.5.1: 1.50) $=$ 1.00

☐ Regolarità in altezza $\Rightarrow$ Secondo Normativa: $q = 1.500$

Da Analisi Pushover: $q = 1.500$

Secondo §7.3.1: $q \leq 2.857$

Figura 6.4. Parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica fattore di struttura stato di fatto

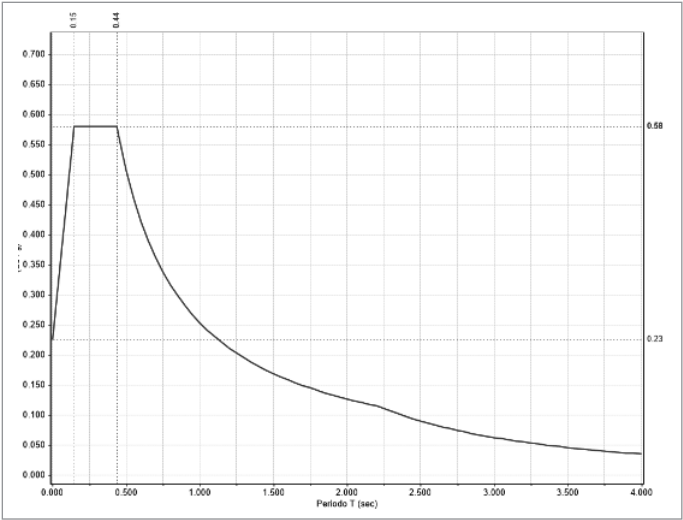


Figura 6.5. Spettro di risposta di progetto agli SLV

CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ
DEL CODICE DI CALCOLO

Affidabilità del codice di calcolo	
Il cap. 10 del Decreto del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 17 Gennaio 2018 fornisce le istruzioni relative alla Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo, cui il progettista delle strutture deve attenersi nella redazione degli elaborati progettuali. Il punto 10.2 Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo specifica: <i>Qualora l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, curando nel contempo che la presentazione dei risultati stessi sia tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità.</i> Nella fase di stesura della relazione di calcolo, utilizzando i tabulati provenienti da codici di calcolo, è demandato al progettista il compito di analisi preliminare della documentazione: <i>Il progettista dovrà esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, che sarà fornita dal produttore o dal distributore del software, dovrà contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali dovranno essere forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.</i> Il presente documento costituisce asseverazione sulla affidabilità del codice di calcolo, unitamente alle stampe degli esempi e del manuale di validazione del software PCM prodotto dalla ditta Aedes.	
Ditta produttrice	Aedes Software per Ingegneria Civile Via F. Aporti 32 – 56028 San Miniato (Pisa)
Software, versione, nr. serie	Informazioni su Aedes.PCM  Aedes.PCM, Progettazione di Costruzioni in Muratura. Versione 2020.1.1.0 - Moduli disponibili: Base, Analisi Globale, Cerchiature © 1997-2020 AEDES Software. Tutti i diritti riservati. ATTENZIONE. Aedes.PCM è tutelato dalle leggi sul copyright, dalle leggi sui diritti d'autore e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Questo programma è concesso in licenza d'uso in base alle Condizioni di licenza software AEDES al titolare della chiave hardware AEDES identificata dal codice: MGJLQHSP. OK
Campo di applicazione	Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare. Analisi non-lineare (pushover)

<i>Validazione del software e Normativa Tecnica (si veda manuale allegato al software)</i>	Il D.M. 17.01.2018, in §10.2, prevede che il software sia corredato di un documento di validazione finalizzato a dimostrarne l'affidabilità. La norma richiede esplicitamente che siano discussi i seguenti punti: 1. Individuazione dei campi di impiego del programma; 2. Descrizione delle basi teoriche; 3. Sperimentazione del programma attraverso l'ausilio di casi di prova completamente risolti e commentati. I punti 1 e 2 sono ampiamente trattati nell'ambito della manualistica del software. Relativamente alla scelta dei codici, questi sono ad elementi finiti (di tipo monodimensionale), per quanto riguarda le analisi elastiche ed elasto-plastiche. Dopo l'analisi, il software provvede all'esecuzione delle verifiche di sicurezza. Queste verifiche possono essere svolte sia in campo lineare che non-lineare (pushover). Le verifiche in campo lineare sono un'implementazione diretta delle formulazioni riportate in Normativa (D.M. 17.01.2018) per pressoflessione complanare, taglio per scorrimento, taglio per fessurazione diagonale, pressoflessione ortogonale, verifiche di spostamento. Per le procedure non-lineari, la documentazione allegata (cfr. manuale teorico) illustra in modo dettagliato le procedure implementate nel software AEDES. Sempre nel campo numerico, sono da considerarsi le tecniche di calcolo usate in Analisi Cinematica (ai fini dello studio dei meccanismi di collasso), che si basano sulla meccanica dei corpi rigidi ed implementa formulazioni analitiche dirette e quindi non interessate da processi di calcolo numerico con inerenti tolleranze di precisione. La questione della validazione può essere affrontata analizzandone i diversi aspetti. (A) Validazione del proprio progetto Questa fase riguarda il particolare progetto esaminato: il giudizio sull'affidabilità dei risultati può essere espresso: I) utilizzando le procedure semplificate disponibili in PCM; II) controllando i parametri ritenuti significativi (sollecitazioni e deformazioni nelle aste, spostamenti dei nodi, reazioni vincolari, deformate modali), come per una qualsiasi analisi strutturale condotta con calcolo automatico. (B) Validazione del software in generale (B.1) Validazione dell'analisi dei carichi I carichi generati dal software a partire dalla definizione dei campi di solaio possono essere visualizzati graficamente utilizzando le apposite opzioni di PCM; in tal modo l'Utente può accertarne la validità in modo diretto, ad esempio eseguendo confronti con semplici calcoli manuali basati sulle aree di influenza. (B.2) Validazione del solutore ad elementi finiti Le caratteristiche del solutore FEM sono descritte in p.2. Trattandosi di elementi finiti monodimensionali (aste), le procedure analitiche non richiedono ipotesi sui campi di spostamento; il metodo dell'equilibrio, applicato ad un insieme intelaiato di aste, noto dalla Scienza delle Costruzioni, corrisponde esattamente alla procedura risolutiva di PCM. (B.3) Validazione delle procedure di verifica delle murature (B.3.1) Questa avviene attraverso il confronto: I) con verifiche semplici (il Por rispetto alla Pushover, o verifiche manuali) di cui sono noti i risultati (da calcoli manuali o dall'uso di algoritmi di comprovata validità);
--	---

ANALISI GEOTECNICA DELLE FONDAZIONI

Allo stato di fatto, risulta esserci al di sotto delle murature portanti, un proseguo di tre teste in mattoni pieni, nella zona sottostante le murature per un'altezza complessiva di 40 cm, oltre i 25 cm da p.f.

8.1. Caratteristiche geologiche del terreno

Per quanto concerne le caratteristiche del terreno e quindi i fattori che ne influenzano la scelta, della q_{lim} , del k di Winkler e cedimenti, ci si è basati su una relazione geologica-geotecnica, redatta dal Geologo Dallari, ed allegata alla presente relazione di calcolo strutturale.

Di seguito si riportano gli stralci della relazione Geotecnica, con indicazione della stratigrafia, e della portanza del terreno, nonché dei vari coefficienti.

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per il futuro progetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite, si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

MODELLO GEOTECNICO MEDIO DEL SOTTOSUOLO

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.0 – 8.00 m da p.c.	-2.40 m da p.c.	Argilla limosa a consistenza media	γ	1800 kg/cm³ ≈ 18.00 kN/m³
				γ'	2100 kg/cm³ ≈ 21.00 kN/m³
				C_{uk}	0.50 kg/cm² ≈ 50.0 kN/m²
				C'_k	0.05 kg/cm² ≈ 5.0 kN/m²
				M_0	40.0 kg/cm² ≈ 4000 kN/m²
				ϕ_k	26°
				v	0.40
				Es	70.0 kg/cm² ≈ 7000 kN/m²
2	8.00 – 8.80 m da p.c.		Argilla limosa a consistenza scarsa	γ	1750 kg/cm³ ≈ 17.50 kN/m³
				γ'	2050 kg/cm³ ≈ 20.50 kN/m³
				C_{uk}	0.40 kg/cm² ≈ 40.0 kN/m²
				C'_k	0.04 kg/cm² ≈ 4.0 kN/m²
				M_0	35.0 kg/cm² ≈ 3500 kN/m²
				ϕ_k	22°
				v	0.50
				Es	56.0 kg/cm² ≈ 5600 kN/m²

[segue]

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
3	8.80 – 18.20 m da p.c.		Argilla limosa a consistenza elevata	γ	1850 kg/cm ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/cm ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² ≈ 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² ≈ 6.0 kN/m ²
				M_0	50 kg/cm ² ≈ 5000 kN/m ²
				ϕ_k	27°
				v	0.40
				Es	84.0 kg/cm ² ≈ 8400 kN/m ²
4	18.20 – 19.60 m da p.c.		Sabbia limosa sciolta	γ	1800 kg/cm ³ ≈ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/cm ³ ≈ 21.00 kN/m ³
				Dr	30%
				M_0	80.0 kg/cm ² ≈ 8000 kN/m ²
				ϕ_k	30°
				v	0.35
5	19.60 – 20.00 m da p.c		Argilla limosa a consistenza media	γ	1850 kg/cm ³ ≈ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/cm ³ ≈ 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	0.70 kg/cm ² ≈ 70.0 kN/m ²
				C'_k	0.07 kg/cm ² ≈ 7.0 kN/m ²
				M_0	55 kg/cm ² ≈ 5500 kN/m ²
				ϕ_k	27°
				v	0.40
				Es	98.0 kg/cm ² ≈ 9800 kN/m ²
Legenda			γ	=	peso specifico terreno naturale
			γ'	=	peso specifico terreno saturo
			C_{uk}	=	coesione non drenata caratteristica
			C'_k	=	coesione efficace caratteristica (valore cautelativo)
			Dr	=	densità relativa
			M_0	=	modulo di deformazione edometrico
			Es	=	modulo di deformazione elastico
			ϕ_k	=	angolo d'attrito caratteristico

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra illustrati:

- γ' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 – Bowles 1982];
- C_{uk} = coesione non drenata (terreni coesivi) [Formula di Lunne & Eide];
- Dr = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976];
- M_0 = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 – Mitchell & Gardner 1975 – Ricceri et al. 1974 – Holden 1973];
- E_s = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimov 1974];
- ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose];

CONDIZIONE AL CONTORNO SUI MASCHI MURARI IN ADIACENZA

9.1. Vincolamento solai e aste (stato di fatto)

Le condizioni al contorno dei maschi murari nel caso di aggregati edilizi devono essere tenute in conto, poiché danno una corretta attribuzione di masse e di deformate modali alla struttura.

Per contemplare al meglio la realtà di ciò che avviene alla struttura in analisi modale, bisogna tener debitamente conto degli effetti globali di contorno, ossia:

- adiacenze;
- sporgenze;
- aggregati;
- ecc..

Lo stato di fatto della struttura in oggetto, presenta dei solai deformabili nel piano, che sono volutamente e correttamente tenuti in conto nel modello di calcolo strutturale. Ciò implica, a livello di onerosità computazionale, un enorme sforzo in termini di tempo, in quanto bisogna bloccare le direzioni (U_x e/o U_y) dei maschi murari in adiacenza alle altre unità strutturali (U.S.).

Trattandosi di una struttura a solai deformabili, non si possono bloccare in automatico le direzioni, attribuendo al piano stesso un vincolo alla traslazione, poiché essendo deformabili i maschi non sono vincolati in sommità, quindi questi ultimi interni e/o perimetrali non adiacenti, possono assumere qualsiasi forma modale non per forza uguale agli altri. A tal proposito, si è agito bloccando la direzione X globale della struttura, per tener conto dell'effetto confinante dell'aggregato edilizio.

Il blocco avviene nella scheda struttura in ambiente Aedes, bloccando alla traslazione i nodi sommitali e alla base dei maschi (*cf.* figure 9.1÷9.6).

9.2. Vincolamento solai e aste (stato di progetto)

Lo stato di progetto della struttura in oggetto, con i nuovi interventi di miglioramento sismico presenta dei solai infinitamente rigidi nel piano, dati dal consolidamento strutturale degli stessi, ovviamente tenuti in conto nel modello di calcolo strutturale.

Nello stato di progetto a differenza dello stato di fatto, possiamo attribuire, attraverso una mascherina, la definizione di impalcato rigido, e come per lo stato di fatto si è bloccata la traslazione degli impalcati in direzione x aggregante (*cf.* figure 9.7÷9.9).

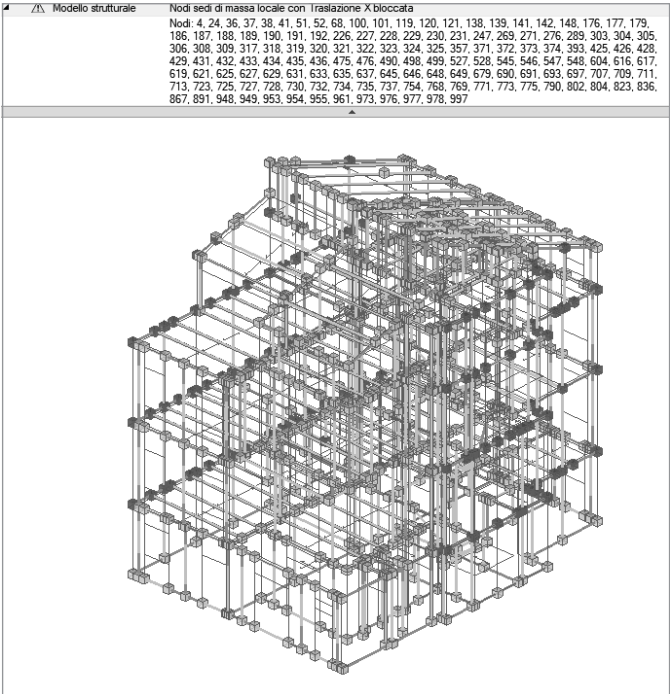


Figura 9.1. Individuazione ed isolamento dei nodi con traslazione lungo +X/-X bloccati

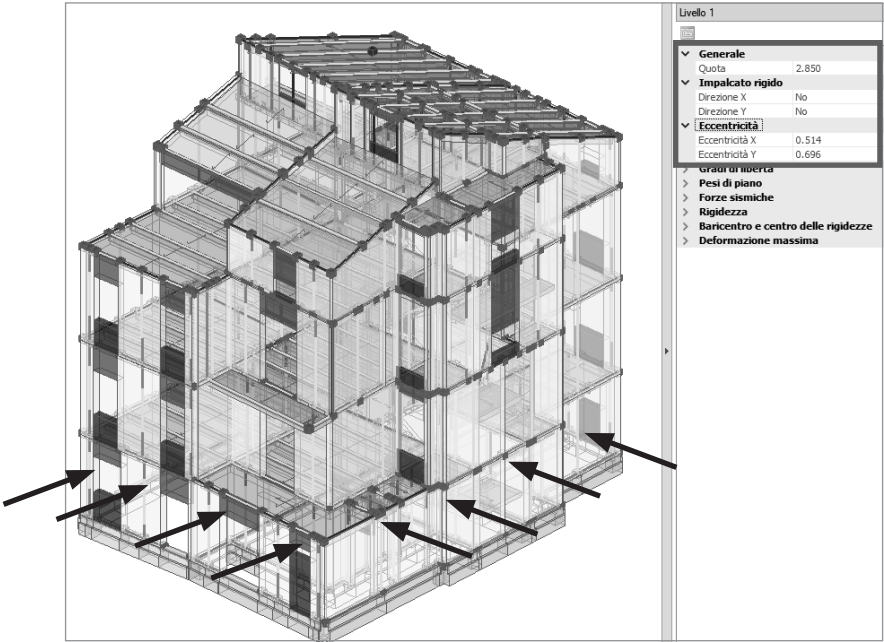


Figura 9.2. Impalcato deformabili nel piano (stato di fatto).
Livello 1, Impalcato rigido: dir x > NO, dir y > NO

no agire contemporaneamente a quella dominante. Le azioni variabili $Q_{k,j}$ vengono combinate con i coefficienti di combinazione γ i cui valori sono forniti in § 2.5.3, tabella 2.5.I.

ANALISI SISMICA LINEARE (STATICA e DINAMICA MODALE)

Dal punto di vista sismico, l’edificio può essere schematizzato con un modello tridimensionale (modellazione 3D).

Nella **modellazione 3D**, il sisma è rappresentato da forze sismiche di nodo in coordinate globali: FX, FY, FZ, MX, MY, MZ [normalmente sono diverse da zero solo le componenti: FX, FY (forze orizzontali), MZ (momento torcente intorno all’asse verticale)], che in caso di piano rigido in ipotesi master/slave, sono applicate nel solo nodo master. Gli effetti torcenti sull’edificio vengono interpretati dai momenti torcenti MZ, determinati dal prodotto forza orizzontale per l’eccentricità aggiuntiva. Essi sono presenti nel caso di piano rigido, dove assume significato il centro delle rigidezze e quindi può essere considerata una sua eccentricità rispetto al baricentro.

Secondo normativa, per gli edifici devono essere analizzati alcuni stati limite di riferimento. Per le costruzioni in muratura, questi sono:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE):** Stato Limite di Operatività (SLO) e Stato Limite di Danno (SLD);
- **Stati Limite Ultimi (SLU):** Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Collasso (SLC).

Per gli **edifici esistenti** è possibile, se non diversamente richiesto, fare riferimento a § 8.3: «la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU». In tal caso, quindi, si analizzerà il solo **SLV (con verifiche di resistenza)**.

Per ogni Stato Limite, la Normativa definisce lo Spettro di Risposta elastico. Per gli Stati Limite di esercizio lo spettro di progetto è lo spettro elastico corrispondente (§3.2.3.4), mentre per gli Stati Limite ultimi lo spettro di progetto si ottiene dallo spettro elastico dividendo le ordinate per il fattore di struttura q (§3.2.3.5).

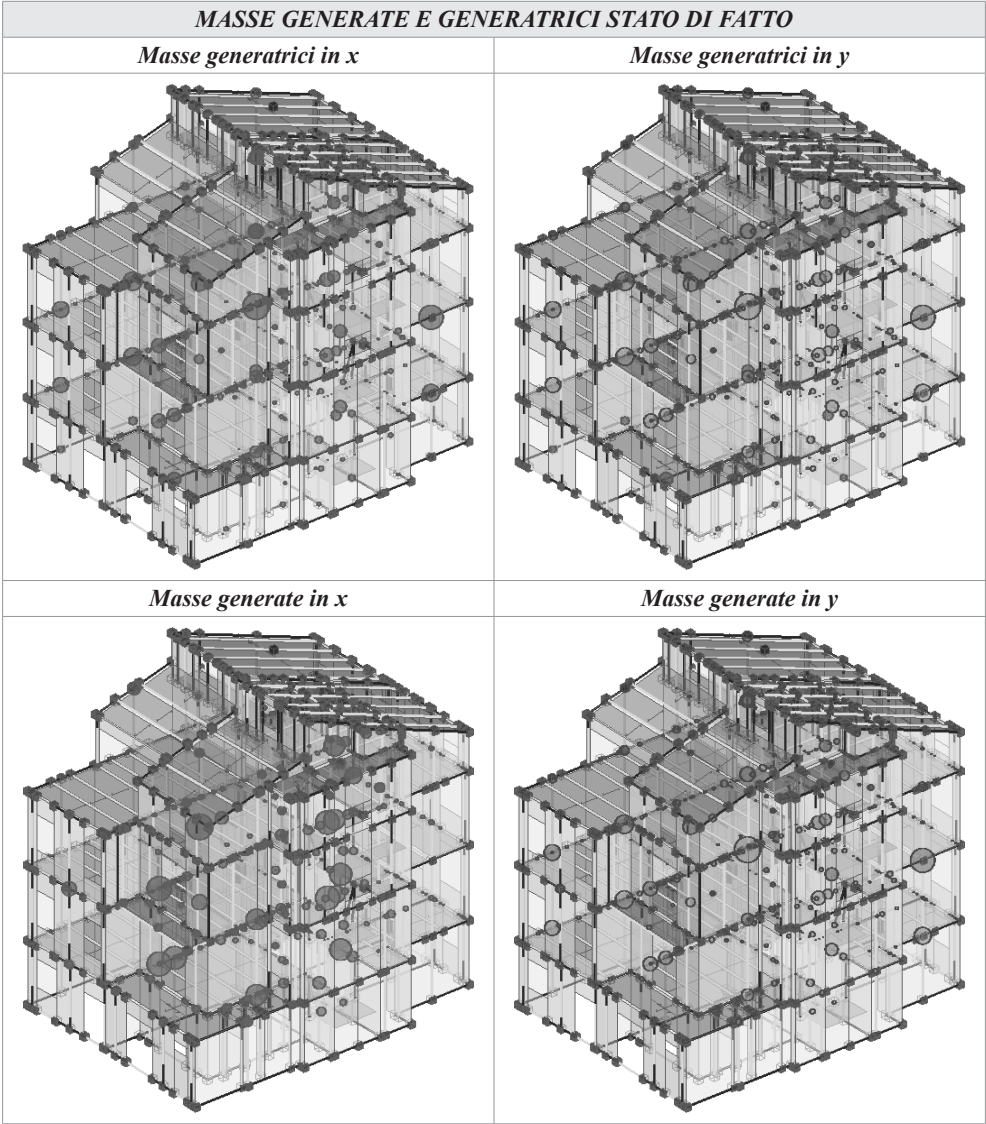
Tipi di analisi		Riesegui
☒ Analisi Modale		☒
☒ Analisi Statica Non Sismica [§4.5.5]		☒
☐ Analisi Sismica Statica Lineare [§7.8.1.5.2]		☐
☐ Analisi Sismica Dinamica Modale [§7.8.1.5.3]		☐
☒ Analisi Sismica Statica Non Lineare [§7.8.1.5.4]		☒

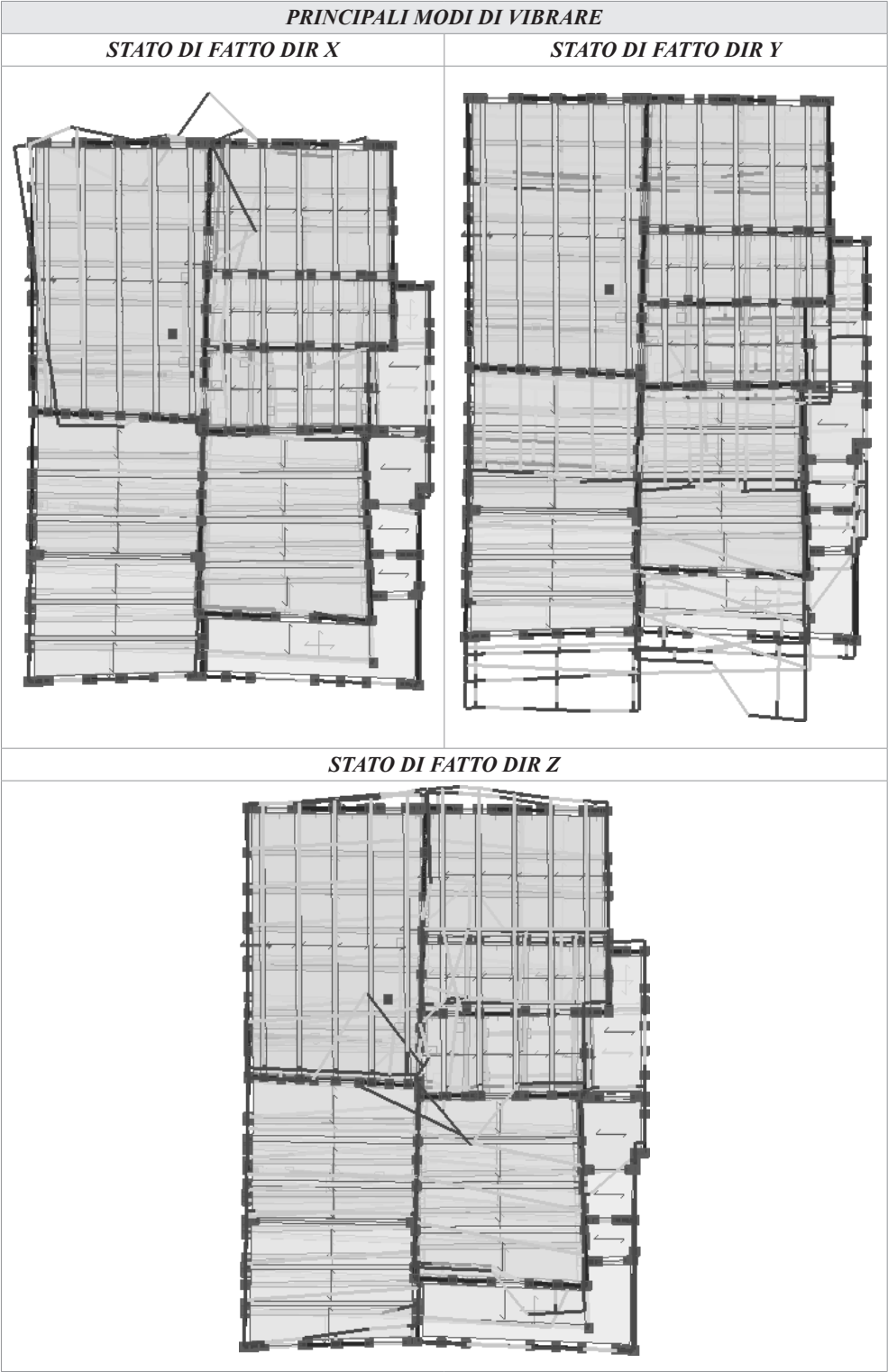
Figura 10.2. Parametri di calcolo per Analisi Sismiche lineari

ANALISI MODALE

11.1. Analisi dello stato di fatto

Si sono analizzati oltre 300 modi di vibrare, qui vi sono presentati i modi principali.





CATEGORIA DI INTERVENTO PREVISTO E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI ADOTTATI

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

12.1. Intervento di miglioramento sismico delle strutture

In merito alla motivazione delle scelte adottate fare riferimento a quanto precedentemente riportato nella presente relazione, nelle relazioni tecniche costituenti il progetto, e negli elaborati grafici.

L'insieme di interventi, nel complesso, si inquadra nella categoria del miglioramento sismico, essendo finalizzato ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza raggiungere i livelli richiesti dalle norme nel caso di fabbricato di nuova edificazione. Le modifiche riguardano singole parti della struttura ma, operando un miglioramento della resistenza a taglio e a pressoflessione degli elementi sismo-resistenti; oltre al miglioramento dei collegamenti tra elementi strutturali.

Tuttavia non risulta necessario procedere ad un adeguamento sismico in quanto non si amplia o sopraeleva la struttura, non si apportano variazioni di classe o destinazione d'uso, e non si effettuano interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente; gli interventi sono di fatto rivolti ad un rafforzamento delle strutture portanti e al raggiungimento di una migliore risposta sismica nei confronti delle azioni orizzontali.

Di seguito si riportano gli stralci delle tavole strutturali allegati alla presente relazione di calcolo strutturale, con indicazione degli interventi di miglioramento sismico adottati nel modello allo stato di progetto, al fine di garantire l'effetto di miglioramento sismico atteso. Gli interventi sono:

- Ringrosso delle fondazioni esistenti con intervento di realizzazione di nuove travi in c.a. al di sotto delle murature portanti del piano terra.
- Realizzazione di 4 cerchiature in carpenteria metallica al fine di ripristinare le varie rigidità di piano e di realizzazione di appoggi idonei ai nuovi solai.
- Realizzazione di consolidamento del piano primo, solaio in travi Varese e doppio tavellonato, con innesti e connettori a taglio.
- Realizzazione di nuovi solai ex novo, ai piani 2° e 3°, con tipologia in legno a doppia orditura.
- Realizzazione di nuova copertura in legno a doppia orditura.
- Realizzazione di consolidamento dei pannelli murari ai vari piani, tramite reti in fibra di vetro, connessa alle murature esistenti mediante connettori in GFRP.
- Realizzazione di ringrossi di alcune teste e tessiture murarie ai vari piani, e realizzazione di nuove murature a due teste a livello del vano scala.

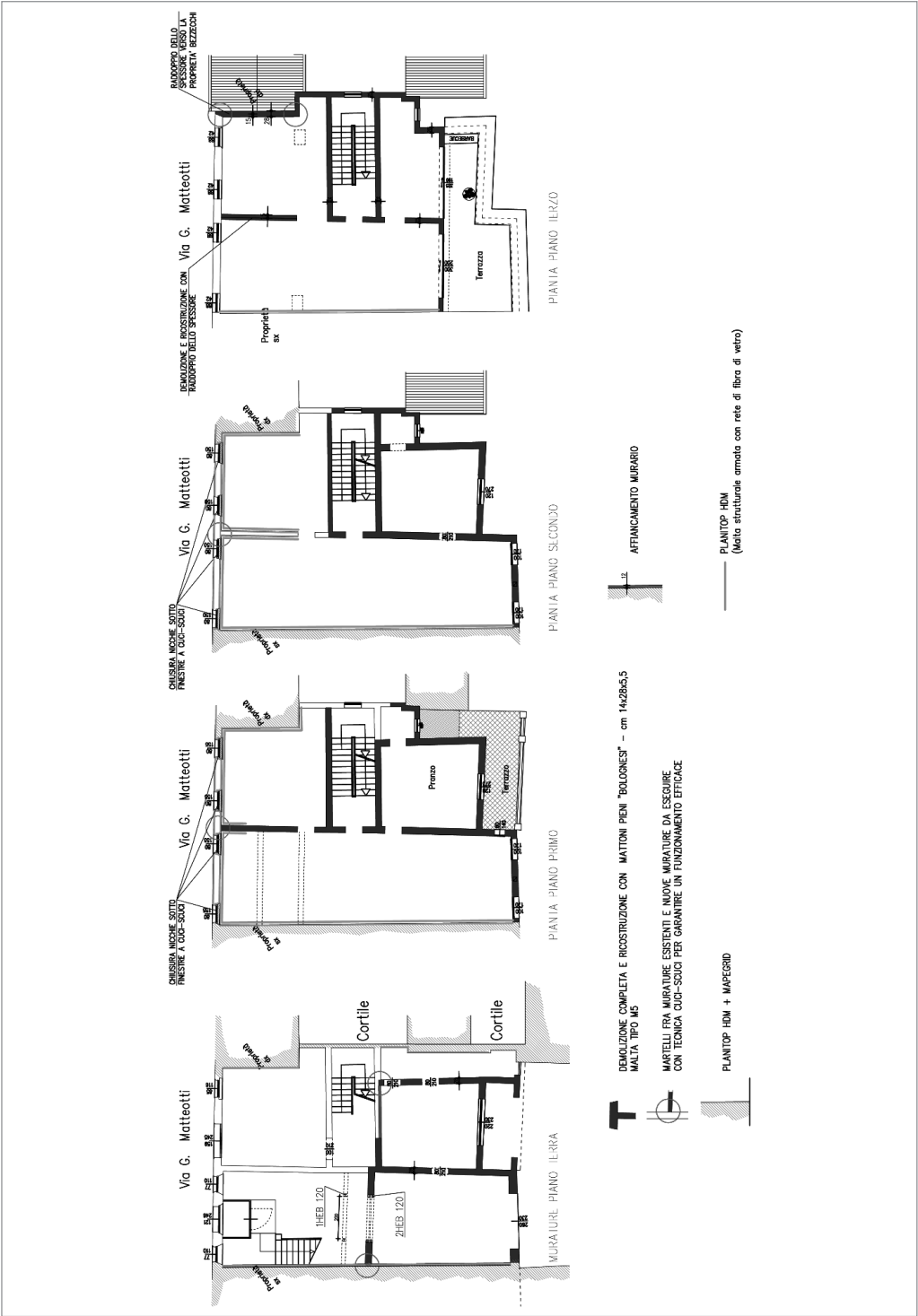


Figura 12.1. Esecutivi di progetto [Fonte: Studio Associato Ing. G. Paltrinieri]

VERIFICA MECCANICA STRUTTURALE DEGLI INTERVENTI SISMICI

13.1. Verifica strutturale cerchiature in carpenteria metallica

La verifica meccanica delle cerchiature, risulta essere generata in automatica all'interno del modello globale, mediante una verifica a pressoflessione e taglio degli elementi.

Nelle figure che seguono si riportano:

- le massime sollecitazioni a sforzo (*cfr.* figura 13.1)
- le massime sollecitazioni a taglio (*cfr.* figura 13.2)
- le massime sollecitazioni a momento, in corrispondenza del taglio massimo in Analisi Pushover (*cfr.* figura 13.3)

con indicazione del coefficiente di sicurezza raggiunto.

Si evidenziano:

- la curva e la tipologia di spinta, che comporta il massimo taglio raggiunto in analisi;
- le azioni indotte sulle cerchiature.

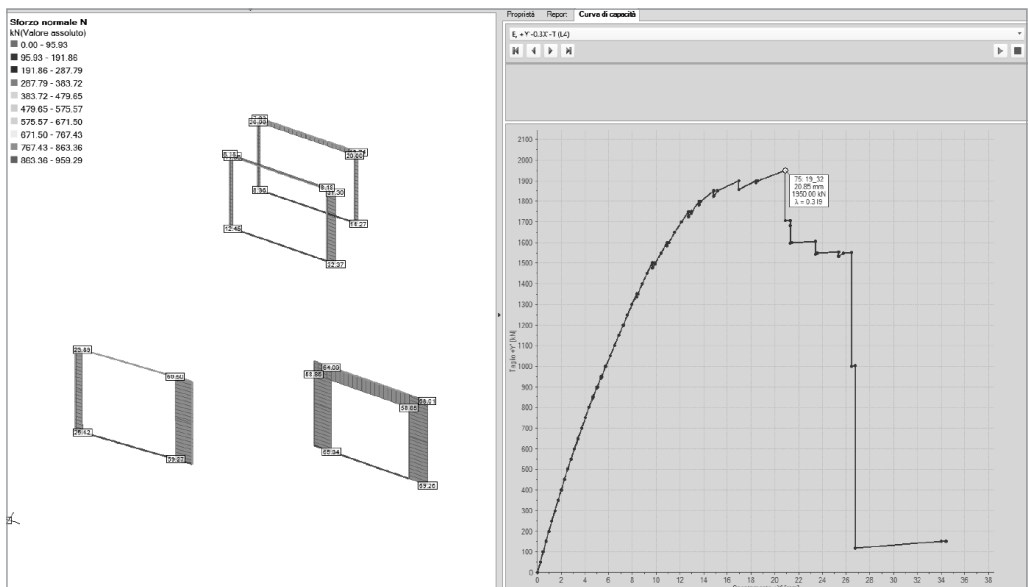


Figura 13.1. Massime sollecitazioni a sforzo

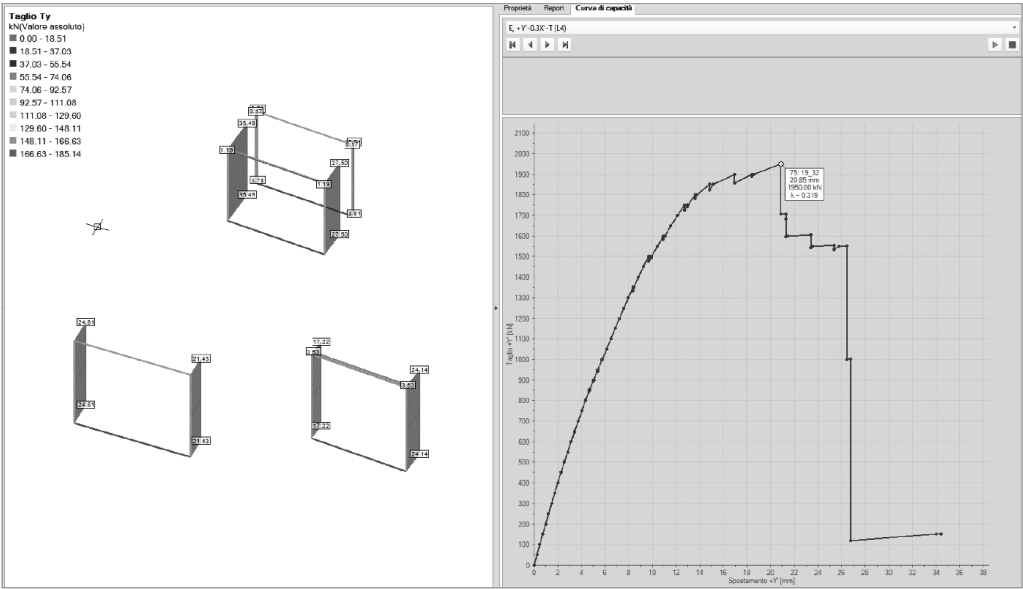


Figura 13.2. Massime sollecitazioni a taglio

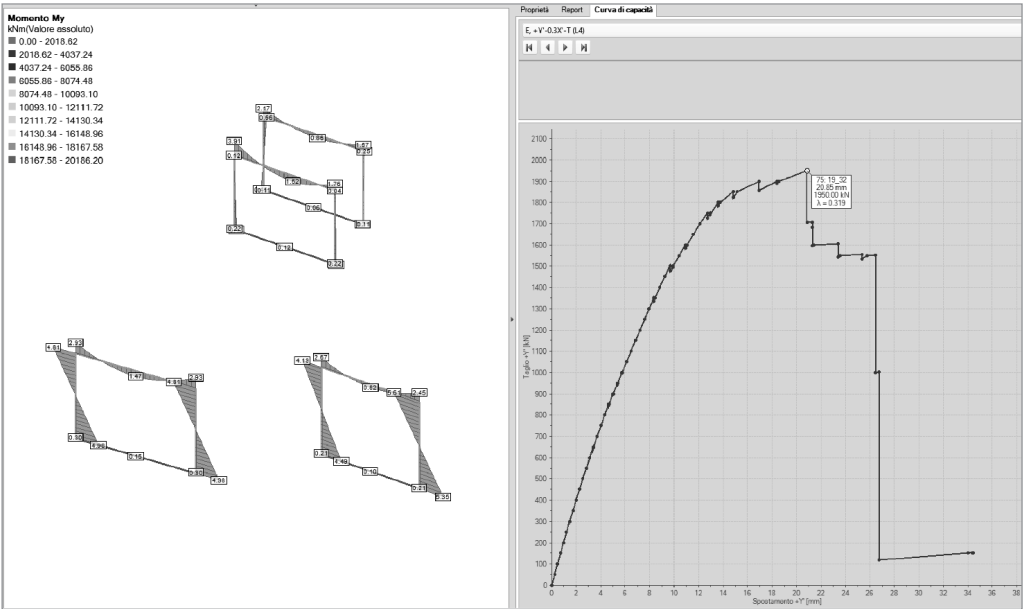
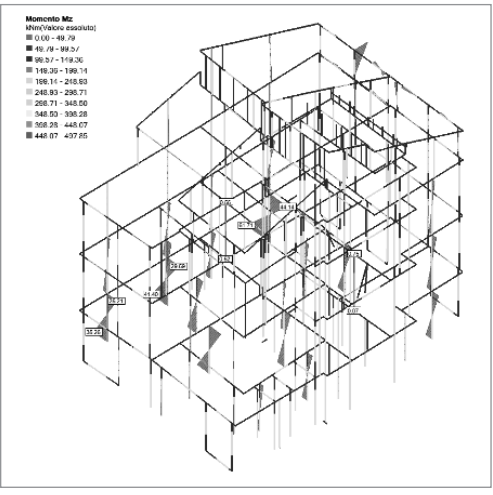
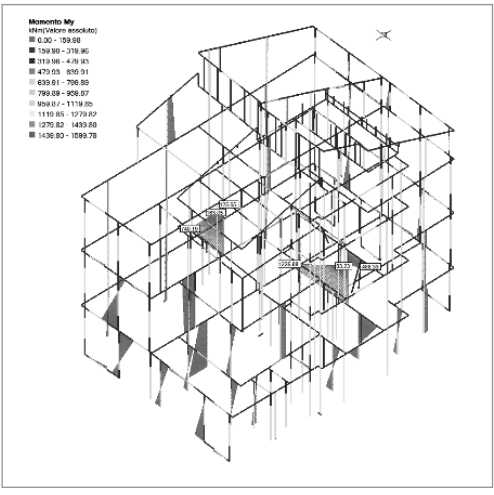
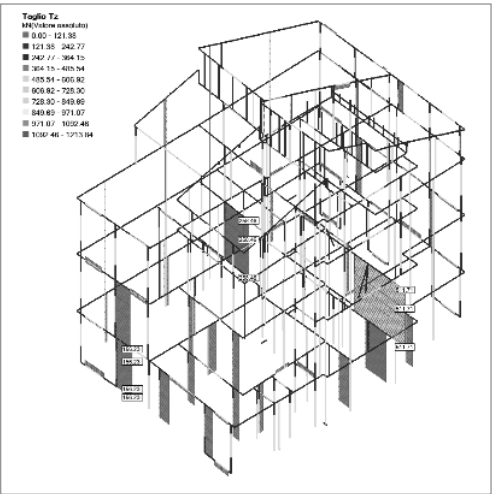
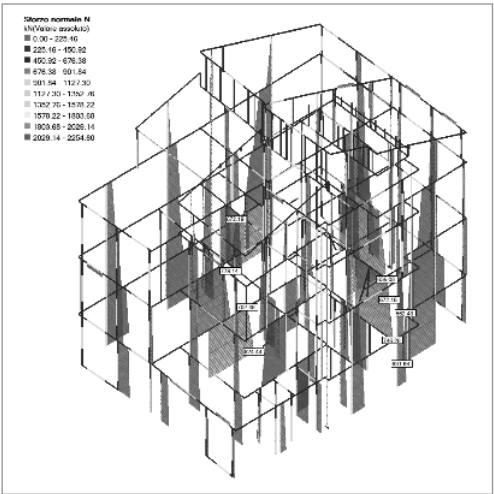


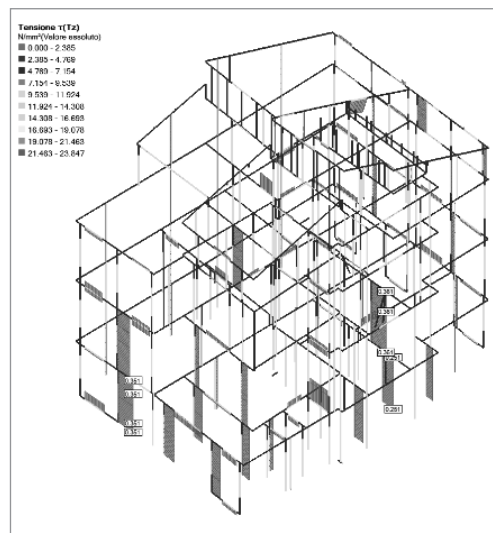
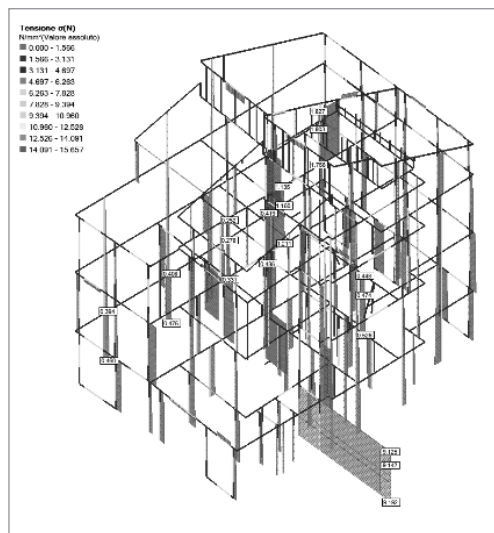
Figura 13.3. Massime sollecitazioni a momento

ANALISI E CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

14.1. Sollecitazioni statiche non sismiche stato di fatto

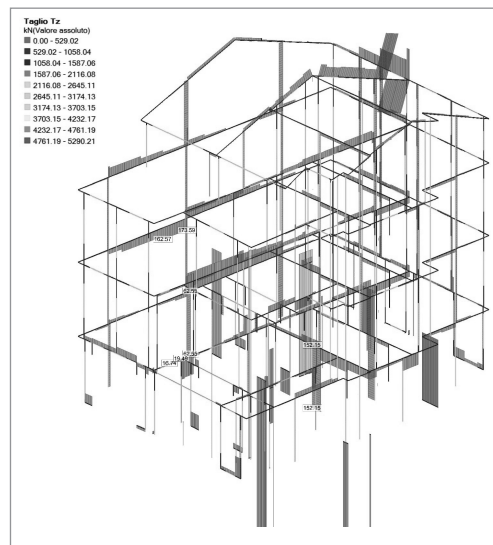
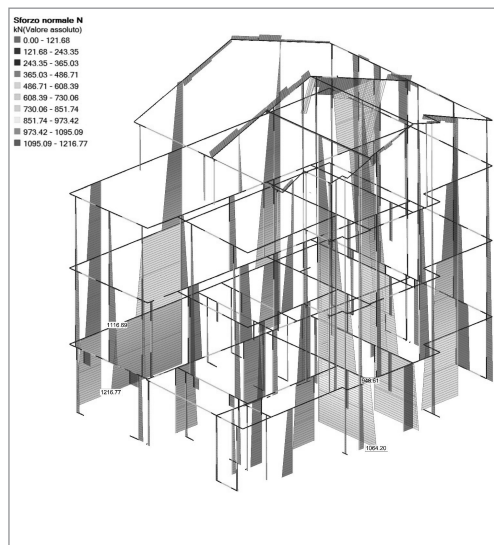
La visualizzazione delle sollecitazioni è evidenziata per lo stato di analisi statica non sismica in condizione di involucro, in quanto le sollecitazioni sismiche analizzate in pushover variano in relazione della curva di capacità, quindi perderebbero di senso.





14.2. Sollecitazioni statiche non sismiche stato di progetto

La visualizzazione delle sollecitazioni è evidenziata per lo stato di analisi statica non sismica in condizione di inviluppo, in quanto le sollecitazioni sismiche analizzate in pushover variano in relazione della curva di capacità, quindi perderebbero di senso



VERIFICA IN ANALISI CINEMATICA

15.1. Meccanismi del secondo ordine cinematico

In generale, la valutazione della sicurezza consiste nell'identificazione delle criticità nei confronti delle azioni considerate, sia non sismiche, come pesi propri, sovraccarichi e azioni climatiche, sia sismiche. La prima cosa da notare è che non è sufficiente la verifica sotto l'effetto dell'azione sismica, ma è fondamentale assicurarsi un adeguato livello di sicurezza anche nei confronti delle azioni non sismiche.

Per quanto riguarda le costruzioni esistenti di muratura, la valutazione della sicurezza deve essere effettuata nei confronti dei meccanismi di collasso, sia locali, sia globali, ove questi ultimi siano significativi; la verifica dei meccanismi globali diviene, in genere, significativa solo dopo che gli eventuali interventi abbiano eliminato i meccanismi di collasso locale.

La Circolare n. 7/2019 raccomanda di effettuare le verifiche sia per i meccanismi locali che per i meccanismi globali.

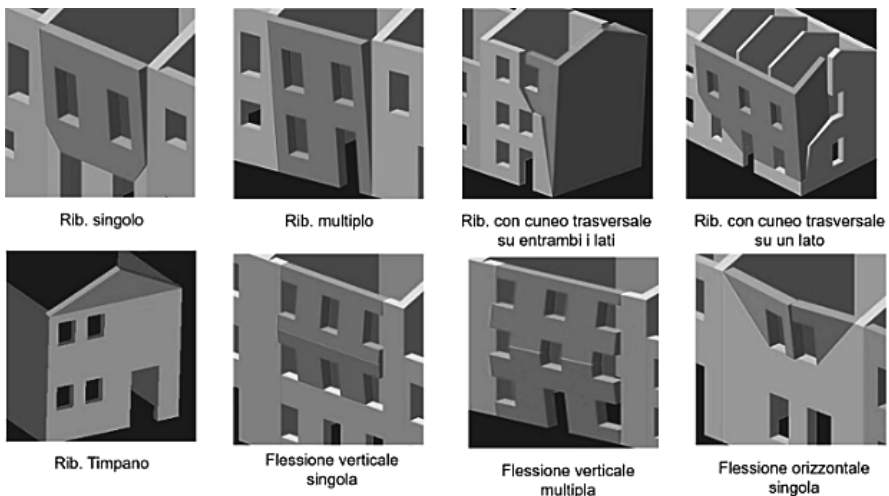


Figura 15.1. Esempi di cinematismi reperibili in letteratura e calcolabili con software di calcolo

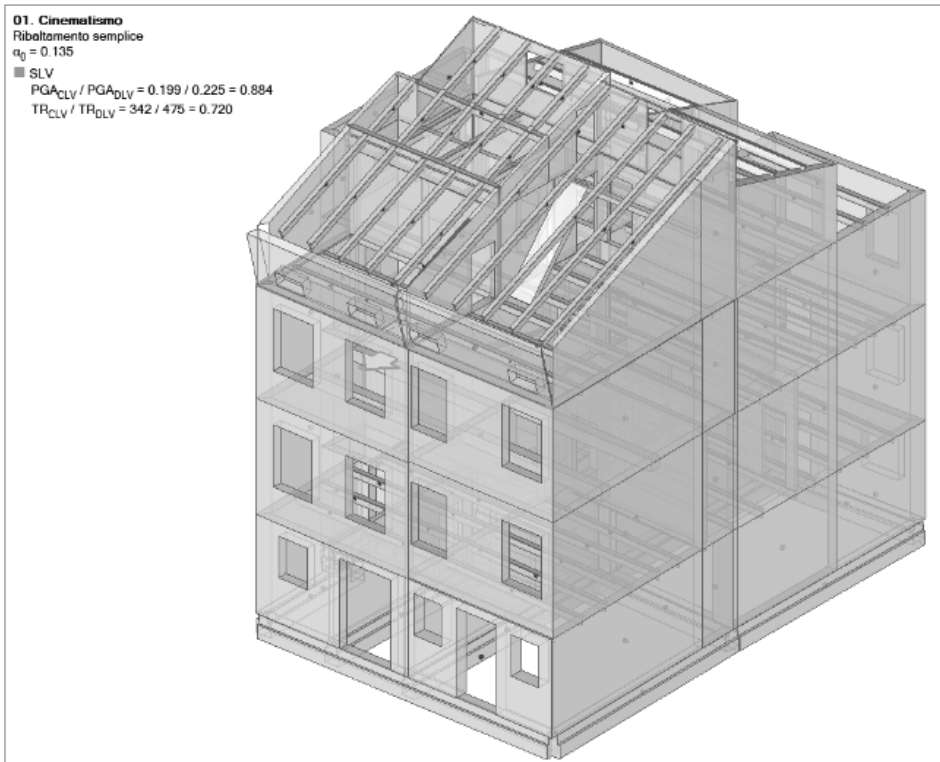
I meccanismi globali possono essere indagati sia con analisi lineari (ad esempio analisi statiche lineari o dinamiche lineari) che con analisi non lineari (ad esempio l'analisi statica non lineare di pushover). Come si desume dal nome coinvolgono la modellazione dell'intero edificio. I meccanismi locali invece sono limitati a porzioni di fabbricato, sono trattati

nel § C8.7.1.2 della Circolare n. 7/2019. Le forme ricorrenti con cui i meccanismi locali si manifestano, identificate e classificate per le diverse tipologie di edifici in base alle esperienze maturate nel passato, sono riportate su linee guida e pubblicazioni scientifiche e costituiscono un utile riferimento per definire le modalità di collasso.

15.2. Analisi cinematica stato di fatto

In realtà, tale analisi, del secondo ordine di attivazione dei meccanismi di collasso, è stata utilizzata al fine di indagare l'acceleratore di collasso, da confrontare e studiare in base a quello derivante da analisi globale del modello FEM. La struttura oggetto, in realtà a seguito di rilievi in situ, non presenta lesioni passanti, o lesioni atti a confermare o ipotizzare eventuali cinematismi in atto o in fase di attivazione. L'unica valutazione cinematica, che rispecchia lo stato di fatto, risulta essere l'eventuale meccanismo di ribaltamento semplice dei pannelli murari ai piani superiori della struttura, data dalla presenza di un tetto a falde spingente.

La presenza di eventuali porzioni di corpi contemplati nel meccanismo, sono stati valutati in funzioni di varie possibili azioni e di vibrazioni modali. L'analisi cinematica risulta essere limitata, data la presenza di corpi adiacenti aggreganti che evitano tali meccanismi. Inoltre l'assenza di un timpano, e di travi martellanti con cantonali, diminuiscono drasticamente.



ANALISI STATICA NON LINEARE PUSHOVER

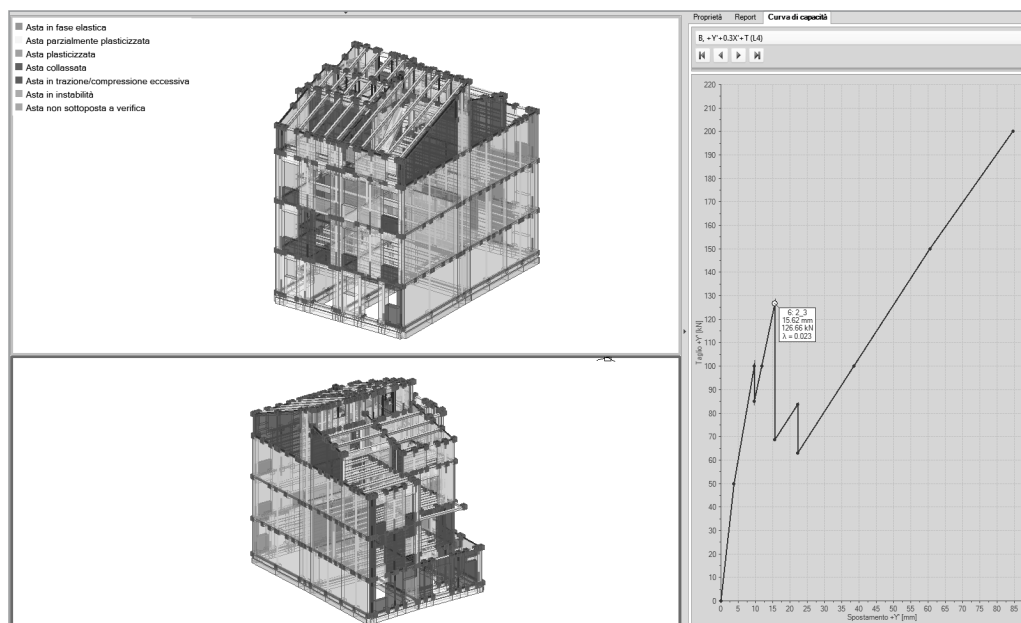
La verifica della struttura quindi di attestazione del miglioramento sismico, è stata effettuata rigorosamente attraverso un'analisi non lineare dello stato di fatto, ed un'analisi non lineare dello stato di progetto, a seguito degli interventi di miglioramento sismico.

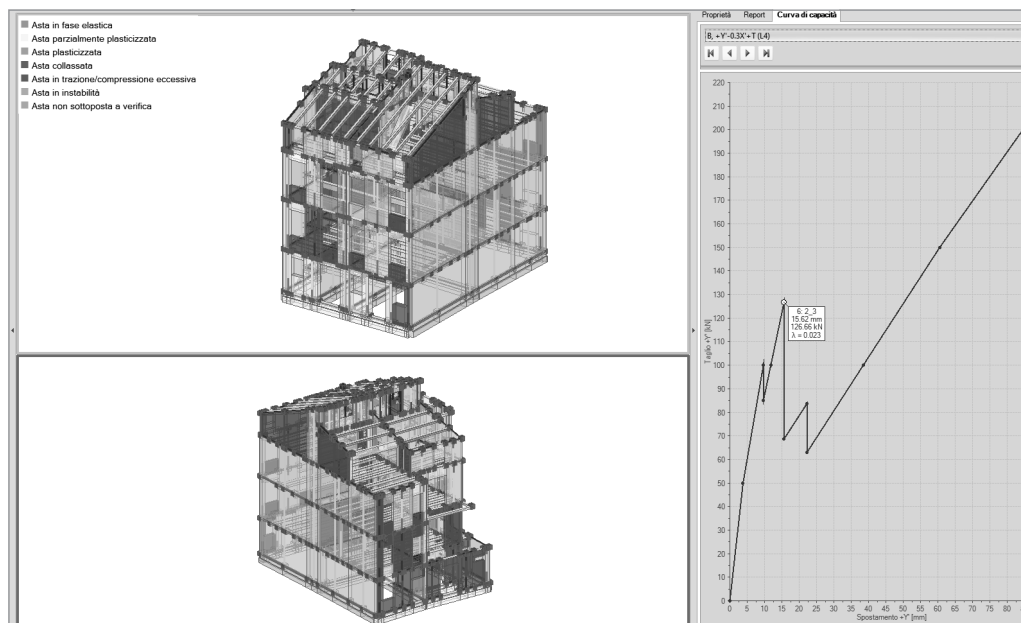
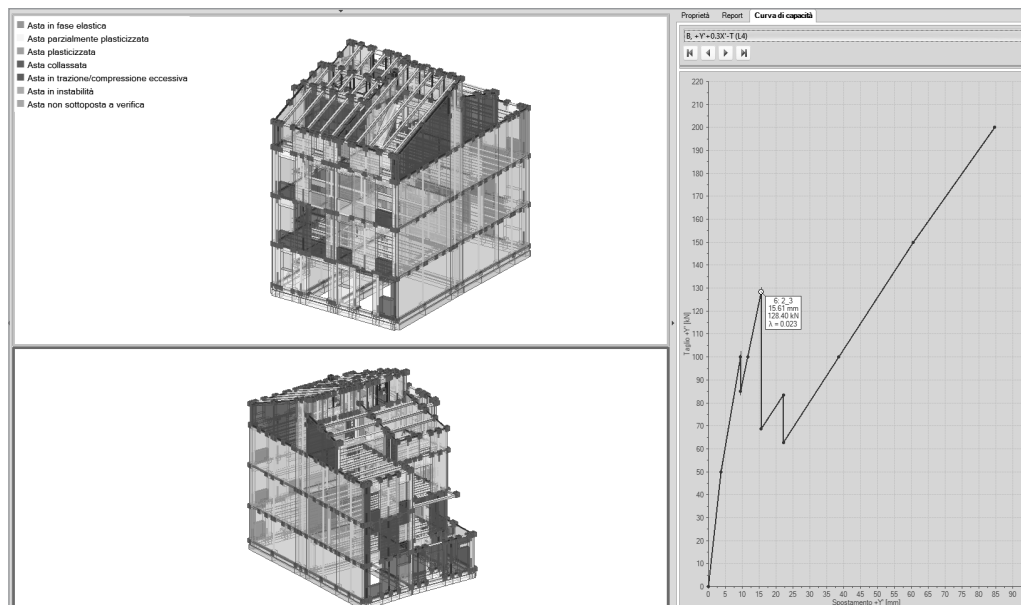
Dalle analisi in questione pre-post interventi, si estraggono gli indicatori di rischio in termini di P_g e TR , ed attraverso i vari rapporti, si attesta il livello miglioramento sismico delle strutture.

16.1. Pushover stato di fatto

L'analisi delle curve pushover sviluppate, sono state definite con due distribuzioni di forze, gruppo 1 con tipologia di fase B e gruppo 2 con tipologia di fase E.

Si ricorda che l'analisi delle curve, è stata elaborata in direzione +Y/-Y, evitando le analisi in direzioni X bloccate dagli aggregati e che avrebbero comportato una falsificazione dei risultati.





RISULTATO DELLE ANALISI E VALIDITÀ DELL'INTERVENTO

Edificio esistente in muratura – Intervento di miglioramento

Risultati dell'analisi strutturale

Normativa di riferimento: D.M. 17/01/2018 (parametri di spettro conformi a reticolo D.M. 14/01/2008).

Questo documento è una scheda di sintesi, contenente i risultati dell'elaborazione in termini di confronto fra capacità e domanda e compilata con riferimento alla terminologia proposta dal D.M. 17/01/2018.

Per la verifica di sicurezza di un intervento di miglioramento (§ 8.4.2) si richiede come obiettivo che l'indicatore di rischio sismico allo Stato di Progetto ζ_E sia ≥ 0.600 per gli edifici di classe III ad uso scolastico e di classe IV, mentre per tutti gli altri casi si richiede che l'incremento $\Delta\zeta_E$ sia ≥ 0.100 .

Per l'edificio in oggetto, nel modello di Aedes.PCM si è scelto il seguente obiettivo d'intervento:

- $\Delta\zeta_E \geq 0.100$, rispetto all'indice dello Stato Attuale: 0.420.
- Pertanto: $\zeta_E \geq 0.520$.

Sintesi risultati: indicatori di rischio sismico ζ_E in termini di PGA

Verifica soddisfatta

Stato di Progetto (dopo l'intervento)

Stato Limite	$\zeta_E (PGA_C / PGA_D)$
SLO	
SLD	
SLV	0.551

Livello di miglioramento sismico

Stato Limite	ζ_E Stato Attuale	ζ_E Stato di Progetto	Variazione $\Delta\zeta_E$
SLO			
SLD			
SLV	0.187	0.551	0.364

Gerarchia dei comportamenti strutturali

Indicatore di rischio sismico obiettivo: $\zeta_E \geq 0.520$

Edificio esistente, Classe d'uso (§ 2.4.2): II

Verifiche obbligatorie secondo Normativa (§ 7.3.6, § 8.3): SLV: RES

In grigio: comportamenti non analizzati, o da non considerare (*cfr.* § 7.3.6, Tab.7.3.III)

Comportamento	ζ_E (PGA_C/PGA_D)
SLV: Cinematismo	0.551
SLV: Capacità limite in fondazione	0.666
SLV: Resistenza fuori piano	0.666
SLV: Resistenza nel piano	0.666

Domanda

Stato Attuale (prima dell'intervento)		
Stato Limite	PGA_D (g)	TR_D (anni)
SLO	0.065	30
SLD	0.081	50
SLV	0.225	475

Analisi eseguite:

- Analisi statica non lineare (pushover)
- Analisi cinematica

Stato di Progetto (dopo l'intervento)		
Stato Limite	PGA_D (g)	TR_D (anni)
SLO	0.065	30
SLD	0.081	50
SLV	0.225	475

Analisi eseguite:

- Analisi statica non lineare (pushover)
- Analisi cinematica

PROCEDURE PER IL CALCOLO DELLA PERDITA ANNUALE MEDIA (PAM) IN EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

La classificazione di rischio sismico delle costruzioni entrata in vigore con il D.M. 28 febbraio 2017, poi integrato il 7 marzo 2017, ha posto l'attenzione sul tema della **quantificazione delle perdite economiche dirette negli edifici a seguito di un terremoto**. In anni recenti, la ricerca sempre più si sta orientando anche su tali aspetti implicando valutazioni che comportano il passaggio da un approccio prestazionale in termini di stati limiti e di operatività strutturali ad un approccio ancora sì prestazionale ma in termini economici. Questo cambiamento comporta la disponibilità di **procedure affidabili per stimare tali perdite**, tipicamente sintetizzate nel parametro di **Perdita Media Annuale Attesa (PAM)**.

Tali **procedure possono essere graduate su diversi livelli di onerosità**, sia nei riguardi della complessità del modello adottato o del metodo di analisi. Crescenti complessità richiedono non solo un maggiore onere computazionale ma anche l'acquisizione di dati e informazioni più ricche. In linea con questo anche il suddetto decreto propone diversi approcci. In questo contesto, il presente articolo propone una procedura sviluppata dagli Autori per il calcolo di PAM per gli edifici in muratura. Le potenzialità della procedura proposta sono illustrate attraverso l'applicazione ad un caso studio confrontando i risultati ottenuti anche con i valori di perdite proposti nel Decreto.

Il **rischio sismico** quantifica le possibili conseguenze di un terremoto in un prefissato intervallo di tempo e in una specifica area, caratterizzata da un esposto definito.

Le **conseguenze** possono essere di diversa natura: da quelle prettamente **strutturali** conseguenti alla risposta sismica dell'edificio e il suo relativo livello di danno, a quelle **economiche** sia dirette che indirette, nonché **infrastrutturali, sociali, culturali e istituzionali**.

Le **perdite economiche dirette** conseguono al danno fisico dei vari sottoinsiemi coinvolti (oggetti, infrastrutture, persone, ambiente), quelle **indirette** sono funzionali dovuti all'interazione dei sottoinsiemi e al non utilizzo del bene, riduzione produzione.

Sino all'ultima decade l'attenzione nella maggior parte delle analisi di rischio sismico è stata posta all'analisi di conseguenze di tipo prettamente strutturale. Infatti la stessa valutazione sismica degli edifici esistenti è inquadrata nelle normative nazionali ed internazionali nell'ambito di valutazioni prestazionali agli stati limite (SL), che tipicamente sono associati a prestazioni strutturali associate all'operatività che l'edificio è in grado di garantire a seguito dell'evento sismico (SLO), alla diffusione del danno (SLD), alla sicurezza dei fruitori del bene in esame (SLV) oppure alla perdita totale di capacità strutturale (SLC). Anche nelle verifiche il raggiungimento di tali stati limite è generalmente controllato attraverso grandezze associate alla risposta strutturale (in termini di resistenza o di duttilità).

I più recenti orientamenti, anche a livello scientifico, sono volti ad integrare queste prospettive con concetti relativi alla perdita economica attesa dell'edificio, al numero di feriti, al tempo di ripresa e così via.

Possono quindi essere introdotte nuove finalità delle analisi in ambito sismico indirizzate a:

- classificazione delle prestazioni sismiche degli edifici in analogia con quella energetica per stimolare ad esempio incentivi su interventi di mitigazione del rischio (Calvi et al. 2014);
- analisi costi benefici per indirizzare le scelte sugli interventi di miglioramento sismico;
- definizione di premi assicurativi contro eventi calamitosi quali il terremoto;
- attuazione di politiche di mitigazione del rischio a scala territoriale basate sul calcolo delle conseguenze in termini di perdite economiche e della resilienza che il sistema in esame può garantire.

Tale D.M. introduce strumenti operativi per la classificazione del Rischio Sismico delle costruzioni esistenti basata su due parametri: **il primo economico**, chiamato **Perdita Media Annuale attesa (PAM)**, e **il secondo strutturale**, associato all'**indice di sicurezza sismico (IS-V)** inteso come rapporto tra domanda e capacità determinato con i tradizionali approcci proposti nelle normative attuali. Il **parametro PAM** è assimilabile al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione.

18.1. Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni (D.M. 28 febbraio 2017 con successiva integrazione del 7 marzo 2017)

18.1.1. Introduzione

Le presenti Linee Guida forniscono gli strumenti operativi per la classificazione del Rischio Sismico delle costruzioni. Il documento definisce otto Classi di Rischio, con rischio crescente dalla lettera A+ alla lettera G. La determinazione della classe di appartenenza di un edificio può essere condotta secondo due metodi, tra loro alternativi, l'uno convenzionale e l'altro semplificato, quest'ultimo con un ambito applicativo limitato. Il metodo convenzionale è concettualmente applicabile a qualsiasi tipologia di costruzione, è basato sull'applicazione dei normali metodi di analisi previsti dalle attuali Norme Tecniche e consente la valutazione della Classe di Rischio della costruzione sia nello stato di fatto sia nello stato conseguente all'eventuale intervento.

Il metodo semplificato si basa su una classificazione macrosismica dell'edificio, è indicato per una valutazione speditiva della Classe di Rischio dei soli edifici in muratura e può essere utilizzato sia per una valutazione preliminare indicativa, sia per valutare, limitatamente agli edifici in muratura, la classe di rischio in relazione all'adozione di interventi di tipo locale. Ulteriori specifiche applicazioni del metodo semplificato sono riportate al § 3.2 delle presenti linee guida.

CAPITOLO 19

**PIANO DI MANUTENZIONE
DELLA PARTE STRUTTURALE ELAB. 3**

PROGETTO:

PROGETTO IN AGGREGATO DI MIGLIORAMENTO SISMICO
DI STRUTTURA ESISTENTE IN MURATURA PORTANTE

OGGETTO:

PIANO DI MANUTENZIONE

19.1. Premessa

Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenere nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico.

Il piano di manutenzione è costituito dai seguenti documenti operativi:

- il manuale d'uso;
- il manuale di manutenzione comprensivo del programma di manutenzione.

19.2. Descrizione dell'opera

Tipologia costruttiva: è un edificio multipiano con struttura in muratura portante.

Destinazione d'uso: residenziale.

19.3. Manuale d'uso

Il manuale d'uso si riferisce all'uso delle parti più importanti dell'opera, con particolare riferimento alle parti che possono generare rischi per un uso scorretto.

Il manuale d'uso contiene informazioni sulla collocazione delle parti interessate nell'intervento, la loro rappresentazione grafica, descrizione e modalità di uso corretto.

Struttura n. 1 – Travi di fondazione**Descrizione:**

Strutture di fondazione organizzate in grigliati di travi poste a diretto contatto con il terreno.

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi.

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi.

Modalità d'uso corretto:

Trasferimento delle sollecitazioni statiche e sismiche della struttura al terreno, entro i limiti di pressioni e cedimenti imposti dal progetto.

Struttura n. 2 – Colonne in acciaio**Descrizione:**

Strutture verticali realizzate in profilo metallico.

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi.

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi.

Modalità d'uso corretto:

Trasferire le sollecitazioni statiche e sismiche trasmesse dai piani della sovrastruttura al piano di fondazione.

Struttura n. 3 – Pareti in muratura portante faccia-vista**Descrizione:**

Strutture verticali portanti realizzate in mattoni e malta.

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi.

Rappresentazione grafica:

Vedi tavole particolari costruttivi.

Modalità d'uso corretto:

Trasferire le sollecitazioni statiche e sismiche trasmesse dai piani della sovrastruttura al piano di fondazione.

Struttura n. 4 – Pareti in muratura portante intonacate**Descrizione:**

Strutture verticali portanti realizzate in mattoni e malta con finitura di intonaco.

Collocazione:

Vedi tavole disegni esecutivi.

IL SOFTWARE INCLUSO

20.1. Note sul software Aedes.PCM

Unitamente alla pubblicazione viene fornita la versione freeware di **Aedes.PCM**, della software-house Aedes, liberamente utilizzabile ai fini di valutazione del software.

La versione freeware di **Aedes.PCM** consente la modellazione e l'analisi di alcuni esempi significativi ed è corredata da una VideoGuida (sul canale AedesSoftware di YouTube), in modo che l'utilizzatore possa conoscere gli aspetti fondamentali dell'ambiente operativo di **Aedes.PCM** e valutarne le funzionalità.

Aedes.PCM freeware è inoltre utilizzabile anche come viewer: *Professionale*, *Viewer* e *Freeware* nello stesso programma.

Utilizzando **Aedes.PCM** freeware a scopo viewer (visualizzatore), si possono aprire progetti professionali, anche già analizzati, e consultare dati e risultati.

La versione freeware di **Aedes.PCM** consente la valutazione dell'ambiente operativo e, attraverso la modellazione e l'analisi di strutture semplici, è in grado di illustrare le principali funzionalità di **Aedes.PCM**.

Le caratteristiche operative di **Aedes.PCM** sono le seguenti:

- numero di muri non superiore a 8;
- numero di colonne (pilastri) non superiore a 2 (senza limiti per il numero di travi);
- numero di piani non superiore a 2;
- non ci sono limiti sull'aggiunta di aste generiche (la limitazione sulle aste aggiunte può essere conseguente al massimo numero di nodi consentito);
- non vengono gestiti telai di cerchiatura (per essi è richiesta l'abilitazione alla versione professionale di PCM e di ACM);
- numero massimo di nodi per il solutore: 50;
- opzioni di calcolo non disponibili: in analisi pushover: distribuzioni di forze modali e distribuzioni adattive;
- elaborazioni non consentite:
 - determinazione degli Indicatori di Rischio Sismico in analisi lineare;
 - analisi cinematica (meccanismi di collasso);
 - elementi costruttivi storici e monumentali.

Per l'analisi cinematica, totalmente innovativa e caratterizzata dal calcolo interattivo che rende concettualmente molto semplice l'utilizzo ai fini delle verifiche di sicurezza, si consulti la descrizione dettagliata e completa nella VideoGuida nel canale AedesSoftware di YouTube.

Fra le peculiarità di **Aedes.PCM** ritroviamo:

- 1) **Metodi di analisi semplici e potenti.** I metodi locali di valutazione della sicurezza, quali il contrasto alla disgregazione muraria e il collegamento fra gli elementi strutturali, sono oggetto di costante ricerca e sviluppo al fine di rendere disponibili in campo professionale adeguate procedure di progettazione. L'importanza attribuita ai metodi locali deriva dalla constatazione che nella realtà fisica la maggior parte delle strutture danneggiate dal sisma presenta crolli per perdita di equilibrio più che per superamento delle resistenze. Per quanto riguarda l'analisi globale degli edifici in muratura, essa viene condotta con il metodo del telaio equivalente, opportunamente proposto in **Aedes.PCM** con molte osservazioni e consigli in modo da sfruttarne pienamente le possibilità applicative. Il metodo a telaio, proposto nei documenti normativi di riferimento (Eurocodici inclusi, *cfr.* EC8 UNI EN 1998-1:2005, §9.4(5)) ha il grande merito di unire semplicità a potenza di calcolo: per condurre a risultati attendibili deve essere applicato nell'ambito di un ambiente specializzato, quale **Aedes.PCM**, mantenendo il completo controllo su ogni parametro strutturale.
- 2) **Controllo totale da parte del progettista.** Nel software le procedure automatiche per la modellazione architettonica e strutturale non sostituiscono mai il completo controllo da parte del Progettista, ma svolgono un ruolo importante per aiutarlo nella definizione dei criteri standard e delle scelte più consuete. L'analisi viene condotta su un modello realmente tridimensionale, con sollecitazioni nel piano e fuori piano anche in analisi non lineare; l'azione sismica, di tipo spaziale, consente in tutte le analisi la contemporaneità delle componenti orizzontali e verticale. **Aedes.PCM** non si occupa solo di tipologie tradizionali, pur importanti (cassette isolate): edifici in aggregato, monumentali, su piani sfalsati, con varia articolazione plano-altimetrica costituiscono gran parte dei casi reali applicativi e vengono adeguatamente studiati in **Aedes.PCM** attraverso funzioni evolute e metodi appropriati. Le interfacce del software sono frutto di una costante evoluzione informatica. **Aedes.PCM** è orientato verso il BIM strutturale, essendo un CAD 2D/3D parametrico. L'ambiente operativo è in continuo sviluppo conformemente agli standard più evoluti del settore.

20.2. La software-house Aedes

Aedes è una software-house che si occupa di edifici esistenti in muratura fin dal 1997. Il software di punta è **Aedes.PCM** e viene applicato diffusamente nei progetti di consolidamento e ricostruzione post-sisma.

Altri ambiti progettuali, sull'intero territorio Nazionale, sono costituiti da: prevenzione, analisi di vulnerabilità, classificazione sismica, progettazione del consolidamento delle costruzioni esistenti e di nuovi edifici in muratura.

I software Aedes sono frutto di un continuo confronto con la Ricerca Scientifica e Applicata, e vengono utilizzati su tutto il territorio nazionale. Particolare attenzione viene rivolta

alle problematiche di ricostruzione e di riparazione dei danni dopo eventi sismici ed in generale alla prevenzione antisismica.

Nel software **Aedes** le procedure automatiche per la modellazione architettonica e strutturale svolgono un ruolo importante per aiutare il progettista nella definizione dei criteri standard e delle scelte più consuete. Ogni parametro è sotto controllo e può essere modificato per rappresentare correttamente il comportamento strutturale e per studiare le variazioni prodotte sui risultati delle elaborazioni.

Il modulo **Aedes.PCM** oltre all'analisi globale condotta secondo i metodi previsti dalla normativa vigente, propone lo studio dei meccanismi locali di collasso, l'analisi di stabilità dei sistemi voltati, l'applicazione di tipi di consolidamento tradizionali e innovativi, la progettazione di interventi locali, come l'apertura di vani in murature portanti.

20.3. Requisiti di sistema

Aedes.PCM richiede sistemi a partire da Windows 7 (7/8/10); anche se può aversi operatività compatibile con Windows XP/Vista, i software di ultima generazione richiedono necessariamente un hardware idoneo per l'esecuzione corretta ed ottimale delle funzionalità, in particolar modo quelle di tipo grafico.

In alcuni sistemi le schede grafiche potrebbero non avere prestazioni sufficienti per garantire la piena funzionalità di **Aedes.PCM**: può ad esempio apparire una schermata *nera* nel campo grafico. In tali casi, è possibile disabilitare OpenGL attraverso il comando: `opengl_off` (inserito nella linea di comando); `opengl_on` riattiva le librerie OpenGL. La disabilitazione è limitata all'ambiente grafico di **Aedes.PCM**.

Aedes.PCM richiede Microsoft .NET Framework 4 e qualora non fosse presente, il programma di installazione lo segnala. Microsoft Framework è disponibile dal sito Microsoft.

È richiesta la presenza nel sistema delle librerie di Microsoft Visual Studio C++ 2017 affinché sia possibile eseguire l'analisi. È possibile che in sistemi Windows meno recenti (es. Windows 7) le librerie non siano presenti. In tal caso, scaricare il seguente file: `vc_redist_x64` e quindi installarlo facendoci doppio clic.

In caso di **eccezioni di Windows** dopo l'installazione: in alcuni casi può essere già presente il Framework 4 (non è quindi comparso il messaggio che richiede di installarlo), ma all'avvio di **Aedes.PCM** viene segnalata un'eccezione di Windows che impedisce il corretto funzionamento di **Aedes.PCM**. Si consiglia di procedere secondo i seguenti punti:

- 1) Se la versione di .NET Framework 4 nel computer non è completa: si consiglia quindi di reinstallare Microsoft .NET Framework 4 scaricandolo dal sito Microsoft.
- 2) Se operando come al punto 1) i problemi permangono, scaricare il tool di riparazione sul Framework fornito da Microsoft.
- 3) Se dopo i punti 1) e 2) il problema non è risolto, rivolgersi ad un tecnico specificando che è richiesta l'installazione di Microsoft .Net Framework 4 versione completa.

Alcuni sistemi meno recenti possono inoltre richiedere un componente aggiuntivo: Windows Imaging Component, anch'esso reso disponibile da Microsoft.

20.4. Richiesta della password di attivazione del software

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0191_1.php

- 2) Inserire i codici “A” e “B” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**];
- 3) **Utenti già registrati su www.grafill.it**: inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 4) **Utenti non ancora registrati su www.grafill.it**: cliccare [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare [**Iscriviti**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**].
- 5) Un **link per il download del software** e la **password di attivazione** saranno inviati all’indirizzo e-mail inserito nel form di registrazione.

20.5. Installazione ed attivazione del software

- 1) Scaricare il setup del software cliccando sul link ricevuto per e-mail (file *.exe).
- 2) Installare il software facendo doppio-click sul file **88-277-0192-8.exe**.
- 3) Avviare il software:
Per utenti MS Windows Vista/7/8: [**Start**] > [**Tutti i programmi**] > [**Grafill**] > [**Aedes**] (cartella) > [**Aedes**] (icona di avvio)
Per utenti MS Windows 10: [**Start**] > [**Tutte le app**] > [**Grafill**] > [**Aedes**] (icona di avvio)
- 4) Compilare la maschera *Registrazione Software* e cliccare su [**Registra**].
- 5) Avviare il software cliccando sull’icona *Avvia software* della finestra *Starter*.

20.6. Assistenza tecnica sui prodotti Grafill (TicketSystem)

L’assistenza tecnica (gratuita per 365 giorni dall’acquisto) è relativa esclusivamente all’installazione e all’avvio del prodotto (*non è prevista assistenza per il recupero dei dati*), se la configurazione hardware rispetta i requisiti richiesti.

L’assistenza *TicketSystem* è disponibile all’indirizzo **<https://www.supporto.grafill.it>**.

Effettuare il login al *TicketSystem* utilizzando i dati del profilo utente di **www.grafill.it** ed aprire un ticket seguendo le istruzioni.

La cronologia dei ticket resterà disponibile sulla schermata principale del *TicketSystem*.



Il testo analizza la principale problematica di modellazione ed analisi di fabbricati ed edifici storici, siti in contesti dettati da assieme di unità strutturali o di aggregati edilizi. Risulta un argomento assai diffuso nella pratica strutturale e di difficile interpretazione normativa, sia dal punto di vista computazionale che esecutivo.

L'analisi FEM di tali strutture riveste un ruolo importante nella discretizzazione e realizzazione di un buon modello di base in quanto, un approccio errato, potrebbe compromettere un lavoro idealizzabile ed idealizzato su carta del tutto difforme dal comportamento realistico delle strutture.

L'approccio alla modellazione FEM delle strutture in muratura, può avvenire in diversi modi, telaio equivalente, al continuo, ibrido con generazione di molle a rigidità calibrata, ecc.. Le analisi riprodotte sono del tipo non lineari, partendo già dal presupposto che un pannello in muratura, di per sé è una composizione di materiale fragile e duttile, dettato dalla pietra o mattone stesso, legato da calce e/o malta. L'analisi pushover è utile a descrivere, nel modo più approssimato possibile, il comportamento di tali strutture.

In tale volume si sviluppa un modello FEM con struttura a telaio equivalente, mediante l'ausilio del software agli elementi finiti **Aedes.PCM**.

Molto importante, risulta essere il rilievo geometrico strutturale, non solo dell'oggetto di fabbrica, ma di tutto il contesto in aggregato, così da poter ipotizzare ed analizzare le interconnessioni dei corpi strutturali, dello scambio di forze statiche e sismiche.

Per quanto riguarda la parte teorica del volume, vengono trattati i criteri di progettazione di strutture in muratura in aggregato, secondo quanto proposto nelle NTC 2018 e relativa Circolare applicativa n. 7 del 21 gennaio 2019.

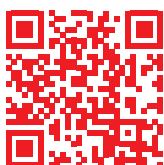
L'obiettivo di tale volume è quello di riuscire a sensibilizzare l'ingegnere, ad avvicinarsi a tali argomentazioni mediante approcci semplificati, sia analitici che di individuazione dei meccanismi di rottura, di iterazione e di verifica.

Il **software incluso**, **Aedes.PCM** della software-house **Aedes** (versione freeware), consente la modellazione e l'analisi di alcuni esempi significativi, in modo che l'utilizzatore possa conoscere gli aspetti fondamentali dell'ambiente operativo del software e di valutarne le funzionalità.

REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Per rendere efficienti tutte le funzionalità di **Aedes.PCM** è richiesto MS Windows a partire dalla versione 7 (7/8/10) e sistemi compatibili. Può esserci operatività compatibile con MS Windows XP/Vista ma, per l'esecuzione corretta ed ottimale delle funzionalità (in particolar modo quelle di tipo grafico), si raccomanda un hardware di nuova generazione. Per altri sistemi operativi è richiesta, a cura dell'utente, la piena compatibilità con i sistemi Windows indicati.

Michele Altia, ingegnere civile strutturista. Si occupa di progettazione strutturale di opere in c.a., acciaio e muratura, con attenzione agli interventi di miglioramento ed adeguamento sismico di strutture civili ed industriali. Esperto in modellazione e calcolo FEM, attualmente collabora con la CGROUP S.r.l. ingegneria. È autore di varie riviste e pubblicazioni.



Software
in G-Cloud

Assistenza
tecnica

ISBN 13 978-88-277-0191-1



9 788827 701911 >

Euro 38,00