

PREMESSA

Il sottoscritto Ing. Francesca Buscemi, regolarmente iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Palermo al n. 5826, ha ricevuto dal Fondo Pensioni per il Personale della Cassa Centrale di Risparmio V.E. per le Province Siciliane, l'incarico per la redazione del progetto definitivo dei lavori di ristrutturazione dell'immobile sito in via Pasquale Calvi n. 13 a Palermo, con lettera prot. n. 0321 del 22 Gennaio 2013.

Di seguito vengono proposti i seguenti paragrafi:

1. Descrizione dei luoghi;
2. Degrado strutturale riscontrato;
 - 2.1 Il meccanismo fisico-chimico del degrado;
 - 2.1 Le prove già effettuate;
3. Resistenza e caratteristiche dei materiali;
4. Criteri di progettazione del consolidamento;
5. Conclusioni.

1. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'edificio in oggetto, la cui costruzione risale agli anni '80, è ubicato a Palermo in via Pasquale Calvi n. 13, prospetti laterali su via Alfonso Borrelli e via D. Manin (foto n. 1 2 n. 2) e prospetto posteriore su via G. Raffaele.

Il fabbricato è costituito da 9 piani fuori terra e due piani cantinati con pianta regolare di dimensioni planimetriche 35.60x52.00 ml, con strutture intelaiate in cemento armato, solai in latero cemento e tamponamenti in conci di tufo e malta.

2. DEGRADO STRUTTURALE RISCONTRATO

Durante i sopralluoghi effettuati si sono riscontrati fenomeni di degrado che interessano gli elementi strutturali (travi e pilastri) a contatto con

gli agenti atmosferici, o comunque che si trovano in presenza di umidità, come i pilastri esterni, e quelli confinanti con i muri contro terra.

E' stato riscontrato notevole degrado anche nei muri perimetrali in c.a. nei locali interrati ai piani scantinati.

2.1 IL MECCANISMO FISICO-CHIMICO DEL DEGRADO

Il degrado subito dall'edificio in esame è ascrivibile al cosiddetto processo di carbonatazione. Il meccanismo di tale processo consiste nella presenza di infiltrazioni di acido carbonico all'interno della struttura. Il processo chimico richiede la compresenza di due agenti acqua (H_2O) e anidride carbonica (CO_2). Tale processo non riguarda quindi le fondazioni che non sono a contatto con l'anidride carbonica. I due agenti formano acido carbonico (H_2CO_3). Tale acido, infiltrandosi all'interno del calcestruzzo in cui è presente la calce idrata ($Ca(OH)_2$), forma un nuovo composto, il carbonato di calcio ($CaCO_3$).

La formazione del carbonato di calcio altera il pH del calcestruzzo (passa da 12 a 9), virando verso gli ambienti acidi. In tali nuove condizioni di pH, le barre di armatura perdono il loro stato di protezione alcalina e si ossidano. L'ossidazione avviene con aumento di volume creando così delle coazioni che tendono ad espellere il copriferro, a creare delle lesioni diffuse sulla parte corticale e rendendo sempre più facile la penetrazione dell'acido carbonico. I primi elementi metallici che subiscono il fenomeno dell'ossidazione sono le staffe, in quanto sono di piccolo diametro e più prossime alla superficie esterna del calcestruzzo. Le staffe con il progredire del processo di ossidazione perdono la loro funzione di contenimento delle barre longitudinali. Queste ultime, non più vincolate dalle staffe e dal copriferro, perdono la loro verticalità (instabilità per carico di punta) e tendono ad essere espulse dal pilastro. Le tensioni che prima erano a carico delle armature longitudinali

vengono immediatamente trasmesse sul nucleo residuo di calcestruzzo. Queste semplici considerazioni sul meccanismo fisico-chimico del degrado del calcestruzzo forniscono un quadro semplice non solo sulla diagnosi ma anche sui rimedi da prendere.

Da quanto espresso si può evidenziare da una parte che l'attacco dell'acido carbonico avviene solo se sono presenti due agenti contemporaneamente (H_2O e CO_2), e che occorre la presenza di una via che consenta al composto H_2CO_3 di penetrare all'interno della struttura, cioè occorre che il calcestruzzo abbia elevata porosità.

Da quanto esposto si possono fare delle conclusioni di carattere generale. In genere il degrado avviene a partire dalla quota di pavimento di piano terra, infatti, in genere l'umidità di risalita dalle fondazioni e la CO_2 presente portano al processo descritto. Analoga situazione si ha sui pilastri e sulle travi di facciata (compresenza di CO_2 e H_2O) e sui campi di solaio interessati da infiltrazioni.

In diversi casi è stata accertata l'ossidazione dell'armatura (staffe e ferri longitudinali). Tale circostanza è dovuta alla perdita delle capacità passivanti del calcestruzzo nei confronti dei fenomeni di ossidazione.

Il degrado riscontrato riduce fortemente la capacità di prestazione degli elementi strutturali coinvolti con riduzione del coefficiente di sicurezza.

In queste condizioni è stato necessario ricontrollare le richieste di prestazione e valutare le capacità di prestazione per potere trarre le dovute conclusioni.

Al fine di stabilire i provvedimenti atti a ripristinare una sufficiente capacità di prestazione strutturale, è stata effettuata una analisi di dettaglio sui pilastri di cui si riportano in allegato i risultati.

3. RESISTENZA E CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la corretta valutazione della capacità di prestazione degli elementi strutturali si è fatto riferimento alle indagini sui materiali

commissionate dal committente al DICA – Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale Laboratorio di Ricerca Sperimentale della facoltà di Ingegneria della Provincia di Palermo.

I risultati e la descrizione in dettaglio di tali indagini sono riportati nella relazione allegata fornita dalla ditta stessa.

Per la valutazione della resistenza meccanica sono state estratte n. 5 carote che poi sono state tagliate e rettificate, con prova di schiacciamento condotta in base alla normativa UNI EN 12390-3 che ha determinato la resistenza cilindrica f_{ck} .

Sono state inoltre effettuate:

- n. 5 prove di carbonatazione.
- n. 5 Analisi chimiche per la determinazione dei cloruri e dei solfati.
- n. 20 Prova di Pull-Out.
- n. 6 Esecuzione di indagine magnetometrica con pacometro per la misura del copriferro e la verifica della posizione e delle dimensioni dei ferri di armatura superficiali.

Dai risultati forniti dal DICA emerge che il carico unitario di rottura medio del cls impiegato per la realizzazione dei pilastri risulta pari a 180.00 Kg/cm².

Inoltre dalle prove effettuate è stato rilevato uno spessore corticale di cls interessato da carbonatazione compreso tra 5 e 8 cm.

Va ribadito che in atto non ci sono presenti problemi in fondazione in quanto non si è accertato alcun quadro lesivo ascrivibile a cedimenti di fondazione né nel corpo di fabbrica in questione né su quelli limitrofi. Inoltre le fondazioni essendo interrato ed essendovi la presenza d'acqua ma non di anidride carbonica, l'attacco carbonatico non può avvenire e conseguentemente i saggi non hanno messo in luce tale fenomeno di degrado.

N	PIANO	LETTURA PULL OUT [bar]	RESTENZA A COMPRESSIONE [Mpa]	RESTENZA A COMPRESSIONE STIMATA [MPa]
1	-2	300	22,1	22,37
2	-2	110		16,10
3	-2	210		19,40
4	-1	250		20,72
5	-1	215		19,56
6	-1	217		19,63
7	0	260	26,9	26,9 (***)
8	0	250		20,72
9	amm.	185 (*)		18,57
10	amm.	190		18,74
11	1	190	19	18,74
12	1	280		21,71
13	2	145 (**)		17,25
14	2	245		20,55
15	3	260	21,3	21,05
16	4	185		18,57
17	5	155	17,3	17,58
18	5	240		20,39
19	6	135		16,92
20	7	220		19,73

4. CRITERI DI PROGETTAZIONE DEL CONSOLIDAMENTO E CALCOLAZIONI EFFETTUATE.

In mancanza di una normativa nazionale che fissi i criteri per il dimensionamento degli interventi di consolidamento di strutture degradate in cemento armato, si assumerà quale criterio di intervento quello volto a riconferire all'edificio in esame il grado di sicurezza che esso aveva all'atto della costruzione dell'immobile. Gli obiettivi che si intende raggiungere a consolidamento avvenuto sono:

- a) Riconferire alla struttura la capacità di prestazioni all'atto della costruzione;
- b) Conferire durabilità adeguata nei riguardi dell'attacco carbonatico che avverrà negli anni.

Si ribadisce che poiché tali interventi non modificano le rigidità degli elementi su cui si interviene questi vanno fatti rientrare nel criterio di miglioramento così come previsto dall'attuale normativa.

Sulla base dei dati acquisiti durante la campagna di indagini e prelievi effettuati in situ è stata condotta una calcolazione atta ad emettere un giudizio globale circa la stabilità del complesso nel suo insieme sia per i carichi permanenti che accidentali, nonché per gli eventi eccezionali (sisma).

Dalle analisi in situ ed in laboratorio è emerso che il calcestruzzo è di buona fattura, con resistenze dell'ordine di 200 kg/cmq. Tale valore in qualche caso è risultato di poco inferiore ma ciò è imputabile al fenomeno di degrado dovuto alla carbonatazione. Per tali elementi strutturali si è previsto un cospicuo rinforzo strutturale al fine di incrementare il carico ultimo di tali elementi danneggiati.

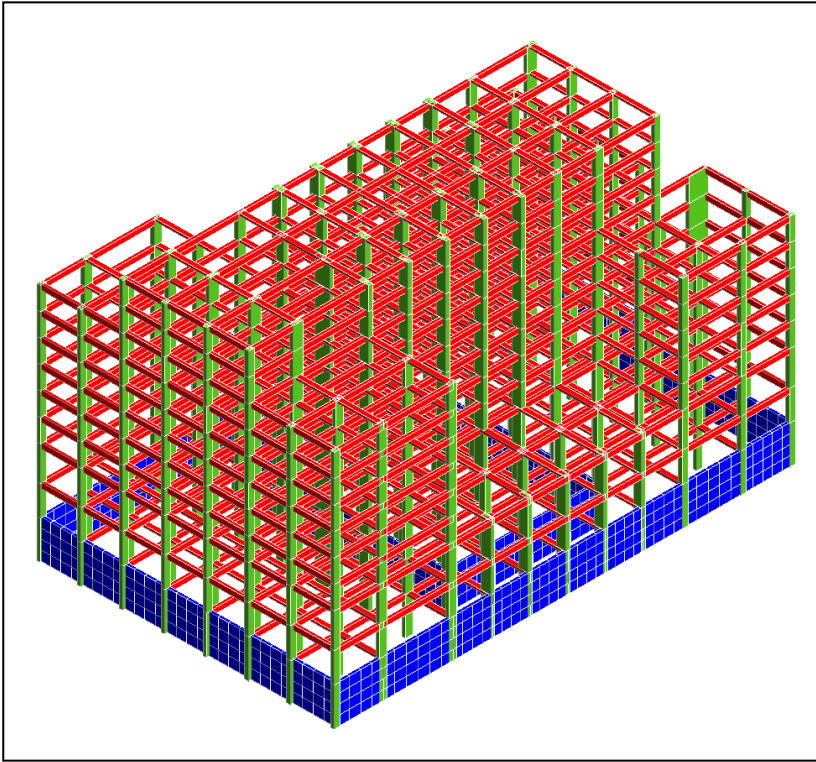
Infine per le calcolazioni si è fatto riferimento a calcestruzzo di classe C20/25, così come previsto dalla normativa vigente.

Per la Calcolazione effettuata si è fatto riferimento alla seguente normativa:

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08

Sicurezza (cap.2), Azioni sulle costruzioni (cap.3), Costruzioni in calcestruzzo (par.4.1), Costruzioni in legno (par.4.4), Costruzioni in muratura (par.4.5), Progettazione geotecnica (cap.6), Progettazione per azioni sismiche (cap.7), Costruzioni esistenti (cap.8), Riferimenti tecnici (cap.12), EC3.

Per la discretizzazione agli elementi finiti dell'intera struttura in c.a. è stato utilizzato il programma di calcolo CDS win.



Discretizzazione della struttura in elementi finiti.

L'analisi sismica è stata eseguita facendo ricorso alle seguenti ipotesi:

- E' stata trascurata la deformabilità assiale di tutte le aste che compongono la struttura.
- E' stato considerato ogni impalcato infinitamente rigido per forze disposte nel proprio piano.
- E' stato considerato ogni impalcato infinitamente deformabile per forze disposte ortogonalmente al proprio piano.

Tali ipotesi riducono drasticamente il numero di gradi di libertà della struttura senza perdere informazioni sul comportamento globale della stessa sotto sisma.

I gradi di libertà di ogni piano sono costituiti dalle traslazioni dell'origine degli assi e dalla rotazione rigida dell'impalcato; per tale motivo la struttura presenta un numero di gradi di libertà pari a $3 \cdot N$ dove N è il numero di piani dell'edificio.

La metodologia di calcolo adottata prevede le seguenti fasi:

Calcolo delle matrici di rigidità dei telai (che possono essere comunque orientati rispetto al sistema di assi globale).

Assemblaggio di tali matrici nella matrice di rigidità della struttura il cui ordine è $(3*N) \times (3*N)$. Calcolo della matrice delle masse consistenti avente lo stesso ordine di quella delle rigidità. Calcolo della matrice dinamica ottenuta come prodotto tra la inversa della matrice di rigidità e la matrice delle masse. Calcolo degli autovalori ed autovettori della matrice dinamica che, fisicamente, rappresentano le pulsazioni proprie ed i modi di vibrare della struttura. Note le pulsazioni si risale ai valori desunti dallo spettro di risposta regolamentare. Calcolo della direzione congiungente l'epicentro con l'origine degli assi che produce le massime sollecitazioni in un dato telaio.

Definizione delle sollecitazioni del generico telaio per la posizione epicentrale più sfavorevole.

Determinazione delle azioni sismiche.

L'attuale normativa richiede il soddisfacimento di due diversi obiettivi prestazionali, ciascuno caratterizzato da un livello d'intensità dell'azione sismica e da un livello di comportamento dell'opera in oggetto.

Nei confronti delle azioni sismiche agli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limiti di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non

strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ai quattro stati limite vengono attribuiti dalle NTC valori della probabilità di superamento P_{V_R} pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, valori che restano immutati quale che sia la classe d'uso della costruzione considerata. Tali probabilità valutate nel periodo di riferimento V_R proprio della costruzione considerata consentono di individuare, per ciascun stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

Si valuta preliminarmente il periodo di riferimento della costruzione V_R :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Vita Nominale della costruzione: $V_N \geq 50$,

Coefficiente di amplificazione topografica: 1.00 ,

Classe d'uso: C_U= 1.0
Ubicazione: Palermo (Long. 13.355 E, Lat. 38,131 N)
Categoria di terreno: C

Successivamente si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma, utilizzando la seguente relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{V_R}) = -C_U \times V_N / \ln(1 - P_{V_R})$$

L'intensità dell'azione sismica è definita mediante lo spettro di progetto, ottenuto a partire dallo spettro di risposta elastico, fissando η=1 a cui corrisponde uno smorzamento convenzionale pari al 5% e moltiplicato per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R}.

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D < T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Come si evince dalle normative vigenti (NTC 2008) la categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta. L'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T coefficiente di amplificazione topografica

Per categoria di sottosuolo C:

$$S_S = 1,00 \leq 1,70 - 0,60 \times F_0 \times (a_g/g) \leq 1,50$$

$$C_c = 1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$$

$$T_1 = 1$$

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali, che per le azioni variabili sono determinati attraverso i coefficienti ψ_{2j} riportati nella Tabella 2.5.I (p.to 2.5.3) del D.M. 14.01.2008.

CATEGORIA B - Uffici $\psi_{0j}=0.7$ $\psi_{1j}=0.5$ $\psi_{2j}=0.3$

I pesi propri degli elementi strutturali sono valutati sulla base delle effettive geometrie delle membrature assegnando un peso specifico del c.a. pari a 25.00 kN/m³ ed un peso specifico dell'acciaio pari a 78.50 kN/m³.

Le restanti azioni statiche (o statiche equivalenti) sono state modellate sotto forma di carichi concentrati, lineari, di superficie o volumetrici.

Le azioni sismiche sono state valutate automaticamente dal codice di calcolo sulla base delle caratteristiche di sismicità del luogo di ubicazione e delle caratteristiche di risposta sismica dell'edificio, in accordo con i parametri esposti in precedenza.

Analisi dei carichi

Nel presente paragrafo si riportano i valori dei pesi unitari dei materiali, nonché dei carichi permanenti ed accidentali utilizzati per la verifica delle strutture oggetto della presente relazione.

I valori assunti risultano conformi alle norme vigenti in materia.

Solaio con laterizi

Peso proprio solaio	5.16 kN/mq
Travetti	0.80 kN/mq
Soletta	1.00 kN/mq
Pignatte	0.73 kN/mq
Massetto	0.76 kN/mq
Pavimento	0.40 kN/mq

Intonaco	1.20 kN/mq	
Totale permanenti	5.16 kN/mq	
Carichi variabili		3.00 kN/mq
	Totale permanenti + variabili 8.16 kN/mq	

Il calcolo ed i risultati delle indagini espedito vengono riportate in allegato.

Di seguito si riporta dettagliatamente la descrizione delle zone affette da maggiore degrado:

Piano terra.

Il piano terra dell'edificio ha dimensioni planimetriche 49.00x31.27 ml (TAV. S18). I pilastri hanno dimensioni variabili, da 60x40 cm a 110x40 cm. Tali pilastri hanno subito superficiali attacchi di carbonatazione e pertanto si prevede di intervenire come dettagliatamente riportato nelle tavole grafiche allegate, Tav. S19_tip.M, Tav. S20_ tip. N, Tav. S21_tip. O, Tav. S22_tip. P, Tav. S24_tip. S.

L'intervento tipo consiste nella pulitura con acqua ad alta pressione della superficie esterna del pilastro a contatto con gli agenti atmosferici, ad asciugatura avvenuta stesura di liquido penetrante tipo Sika Ferrogard-903 su tutta la superficie del pilastro, picchettatura della superficie esterna del pilastro, rasatura con malta cementizia bicomponente tipo Mapefinish e verniciatura con prodotto monocomponente a base metacrilica tipo Sikagard 680 per uniformare la coloritura del cemento a faccia vista.

Per ciascun intervento è raccomandabile trattare il calcestruzzo in opera con prodotti in grado di renderlo passivante nei confronti dei fenomeni di ossidazione delle armature.

Intervento sulle travi perimetrali esterne

Su tutte le travi perimetrali esterne (foto n. 9) sono presenti alcuni segni di ammaloramento ed interventi parziali effettuati negli anni passati.

Su tali travi si provvederà di intervenire secondo quanto riportato nella tavola allegata TAV. S25, ovvero si procederà dismettendo il copriferro fino a completa messa a nudo delle barre di armature della sola superficie esterna a contatto con gli agenti atmosferici, rimozione della ruggine e spazzolatura delle armature, bocciardatura e pulizia del cls mediante lavaggio delle superfici, applicazione di liquido penetrante tipo Sika Ferrogard 903, trattamento delle armature resistenti con rivestimento anticorrosione tixotropico, realizzazione di strato di 3 cm di spessore con malta cementizia tipo Mapegrout T40, rasatura con prodotto tipo Mapefinish ed applicazione di vernice con prodotto monocomponente a base metacrilica tipo Sikagard 680 per uniformare la coloritura del cemento a faccia vista.

Intervento sui muretti in cemento armato

Gli aggetti presenti in facciata ed in particolare i frontalini (foto 10,11, 12 e 13) e le zone intradossali delle solette dei balconi sono anch'essi interessati dalla corrosione delle armature e della conseguente espulsione del calcestruzzo del copriferro. Questi elementi, infatti, sono quelli maggiormente esposti all'azione dell'anidride carbonica, dell'ossigeno e dell'acqua piovana necessari perché il processo di corrosione possa manifestarsi.

Per interventi localizzati che riguardano sia i frontalini, che le fasce marcapiano si dovrà procedere (TAV. S26, TAV. S27) rimuovendo il copriferro fino a completa messa a nudo delle armature, rimozione della ruggine e spazzolatura delle barre di armature, applicazione di liquido penetrante tipo Sika ferrogard 903 su tutta la superficie, posizionamento di rete elettrosaldata zincata $\phi 8$ a maglie quadre 20*20cm.

Per il ripristino della sezione, si potrà utilizzare una malta a presa rapida a ritiro compensato. si tratta di una malta cementizia che potrà essere impiegata sia per il ripristino della sezione ammalorata, che per la finitura delle superfici grazie alla granulometria particolarmente fine (min 0.5 mm) degli aggregati in essa contenuti. Indipendentemente dall'utilizzo delle malte della linea MAPEGROUT o della linea PLANITOP, la protezione delle superfici in calcestruzzo può essere completata da un ciclo di pitture elastomeriche di tipo acrilico costituite da un fondo (tipo MALECH) cui si fa seguire l'applicazione della pittura protettiva (tipo ELASTOCOLOR). L'intervento descritto prevede, quindi, per le strutture in calcestruzzo una protezione tripla affidata al ciclo di pitture elastomeriche che ha la funzione di impedire l'ingresso delle sostanze aggressive (O₂, CO₂, etc.) nel conglomerato cementizio, alla malta cementizia utilizzata per il ripristino della sezione del calcestruzzo, che per la sua alcalinità consente al ferro di mantenersi in condizioni di passività, ed infine, alla malta anticorrosiva che esalta lo stato di protezione dell'acciaio preservandolo dalle azioni aggressive favorite da eventuali fessurazioni che dovessero insorgere nella malta da ripristino.

6. Conclusioni

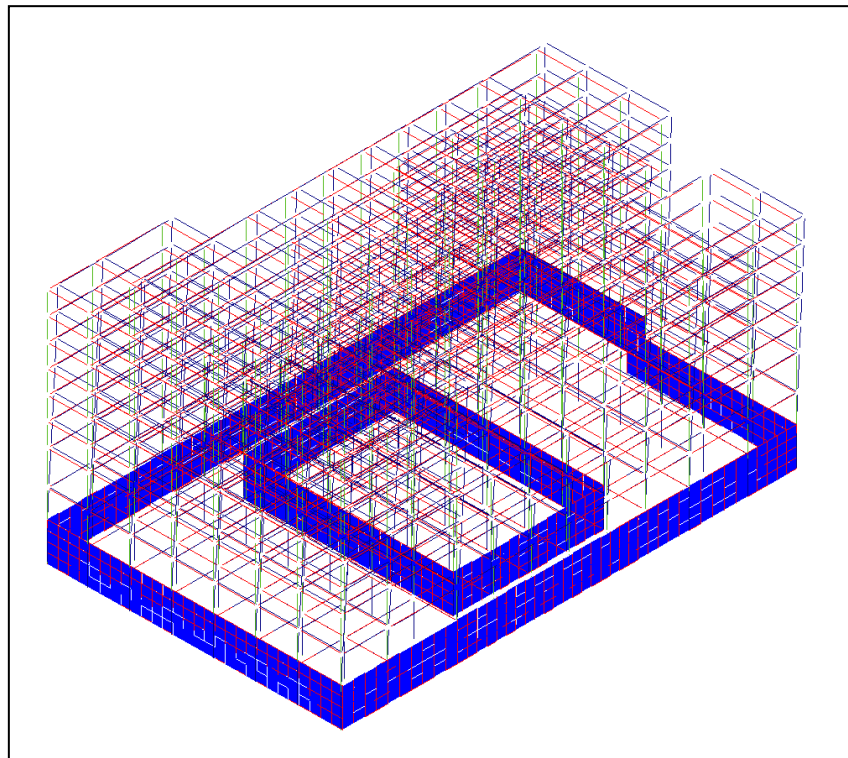
In base allo studio della struttura in oggetto, si può concludere quanto segue:

- 1) i pilastri perimetrali necessitano interventi atti ad incrementarne il livello di sicurezza nei confronti dei carichi verticali;**
- 2) gli interventi sui pilastri devono mirare alla sostituzione del calcestruzzo degradato e carbonatato con una malta a base cementizia avente prestazioni meccaniche adeguate;**

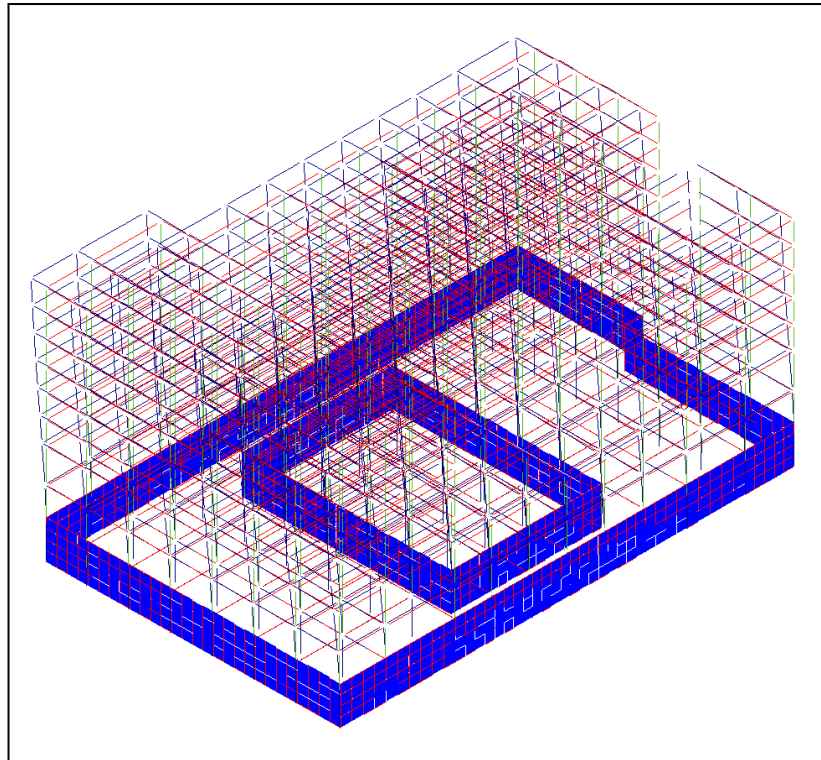
- 3) su alcuni pilastri perimetrali in corrispondenza delle terrazze occorre effettuare la demolizione e la ricostituzione dei copriferrì, sui pilastri perimetrali a piano terra occorre semplicemente effettuare una pulitura e rasatura;**
- 4) al fine di incrementarne la durabilità, è opportuno demolire e ricostituire anche il copriferro di tutte le travi posizionate in corrispondenza del perimetro esterno a contatto con gli agenti atmosferici.**

Il progettista:

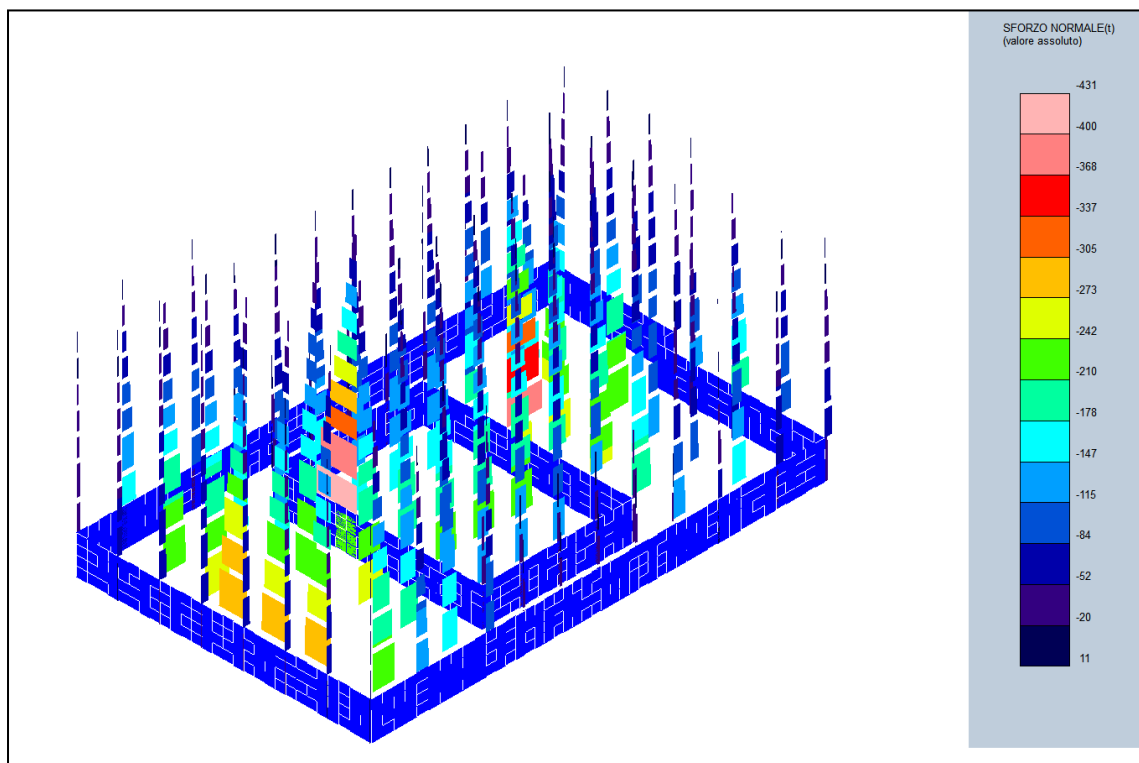
Ing. Francesca Buscemi



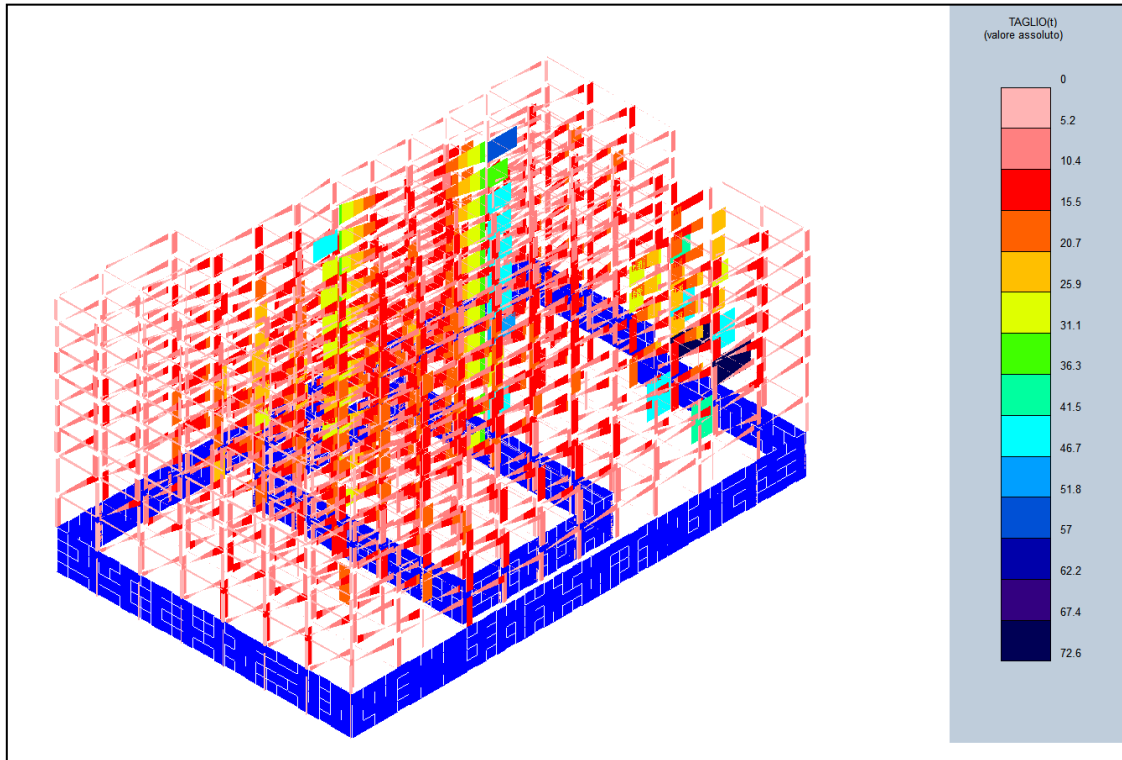
Deformazione aste per effetto del sisma in direzione x.



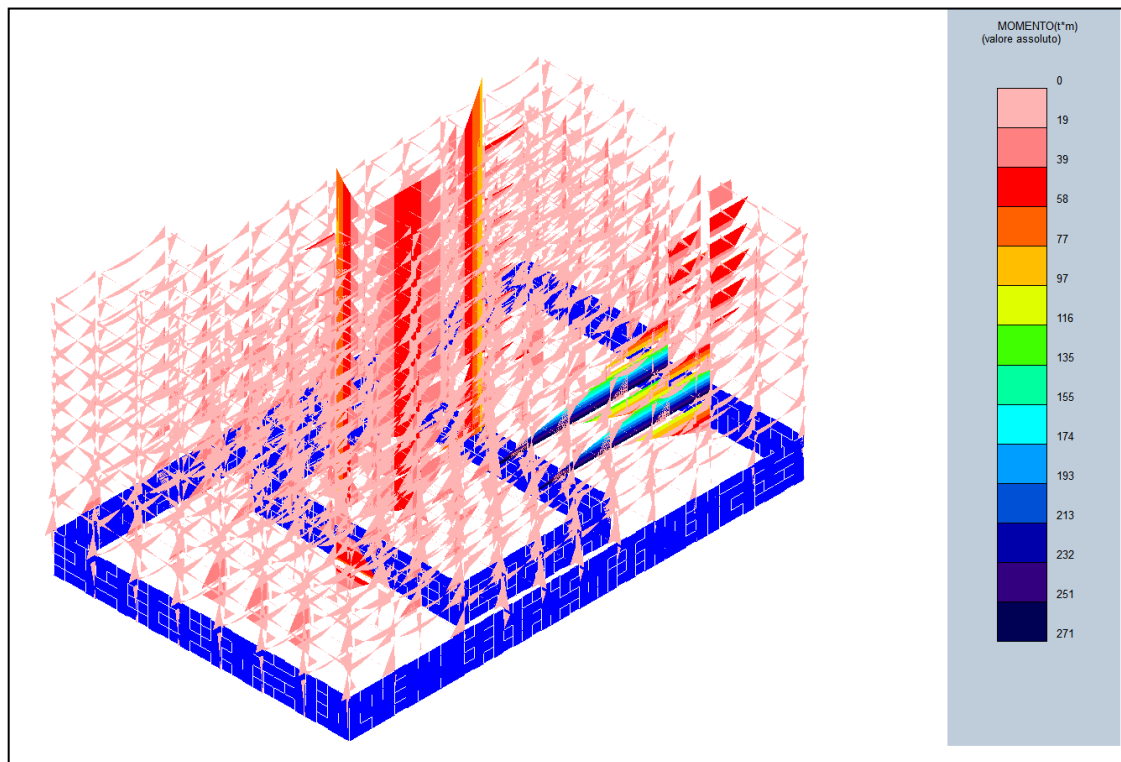
Deformazione aste per effetto del sisma in direzione y.



Sollecitazione di sforzo Normale $N = -431\text{Ton}$



Sollecitazione di Taglio $T = 72$ Ton



Sollecitazione di Momento Flettente $M = 271$ Tonm

Verifica aste

