



## MIGLIORAMENTO SISMICO PAD. 11 OSP. NIGUARDA - MILANO

Analisi e interventi di miglioramento sismico  
sulle strutture in muratura con MasterSap

Ing. Rachele Petrin – AMV S.r.l.

## Sommario

Premessa .....	2
Caratteristiche dell'edificio in muratura .....	3
Analisi della vulnerabilità sismica e iter di progetto .....	4
Valutazione dello stato di fatto .....	4
Risultati dell'analisi pre-intervento (stato di fatto) .....	4
Soluzioni progettuali .....	6
Valutazione dello stato di progetto .....	7
Risultati dell'analisi post-intervento (stato di progetto) .....	8
Conclusioni .....	9
Crediti e autorizzazioni alla pubblicazione .....	9

## Premessa

Il progetto di **miglioramento sismico del Padiglione 11 del Grande Ospedale Metropolitano Niguarda**, contestuale all'adeguamento antincendio, ha coinvolto un edificio storico risalente al 1933, composto da differenti corpi di fabbrica con caratteristiche strutturali miste.

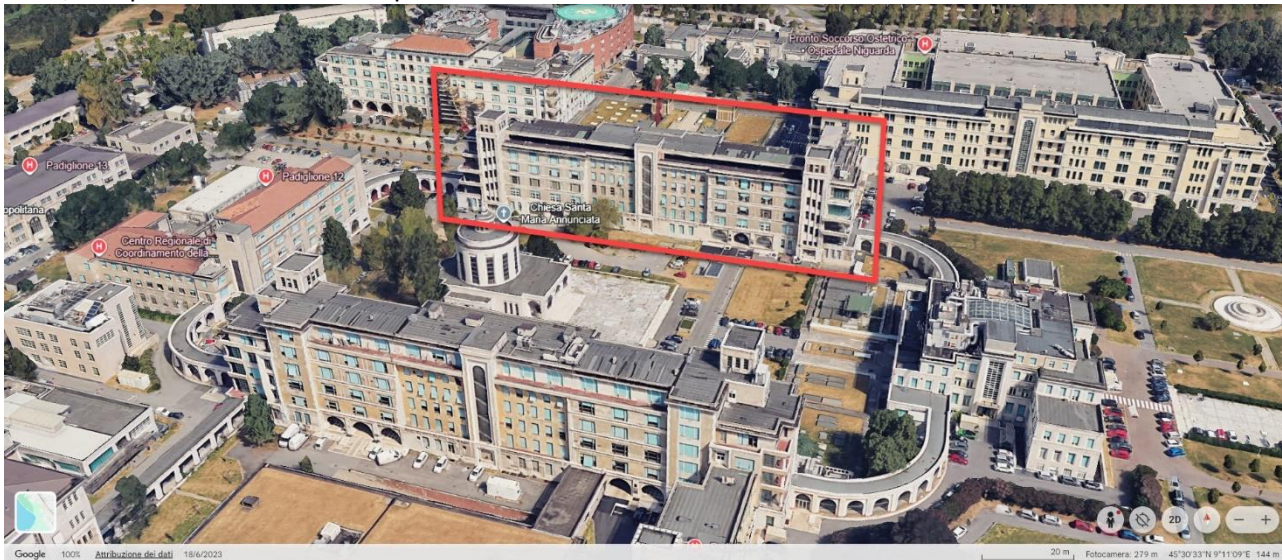


Figura 1 - Padiglione 11 del Grande Ospedale Metropolitano Niguarda di Milano | Crediti: earth.google.com

In particolare, i **blocchi 1, 3 e 5** presentano **strutture portanti in muratura**, mentre i blocchi 2 e 4 sono in cemento armato. La parte in muratura ha rappresentato l'ambito più critico per la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi di miglioramento sismico.

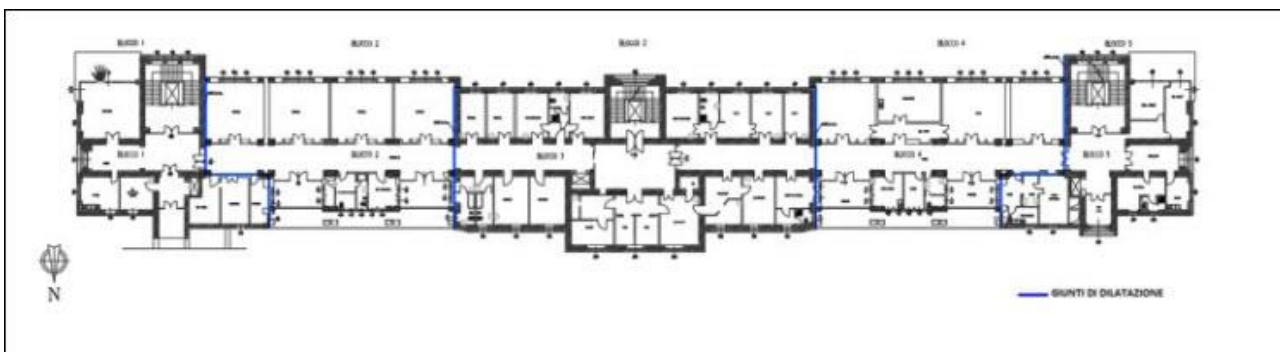


Figura 2 - Vista in pianta con divisione dei blocchi | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

## Caratteristiche dell'edificio in muratura

I corpi in muratura del Padiglione 11 sono realizzati con **pareti portanti di spessore variabile**, rastremate in elevazione, e con solai in laterocemento. Le murature, originariamente progettate per carichi statici verticali, presentano scarsa capacità di resistenza a sollecitazioni orizzontali e un comportamento fragile sotto azione sismica.

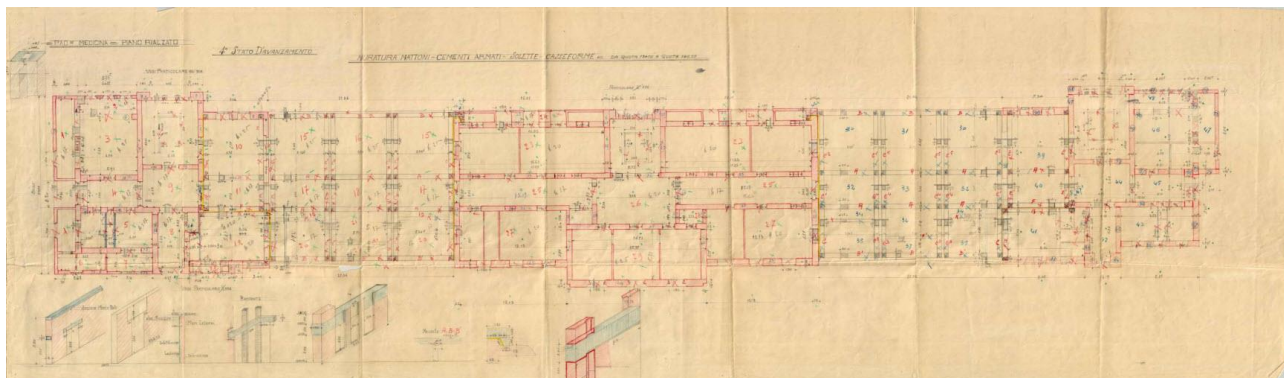


Figura 3 - Foto tavola del progetto originario - 1933 | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

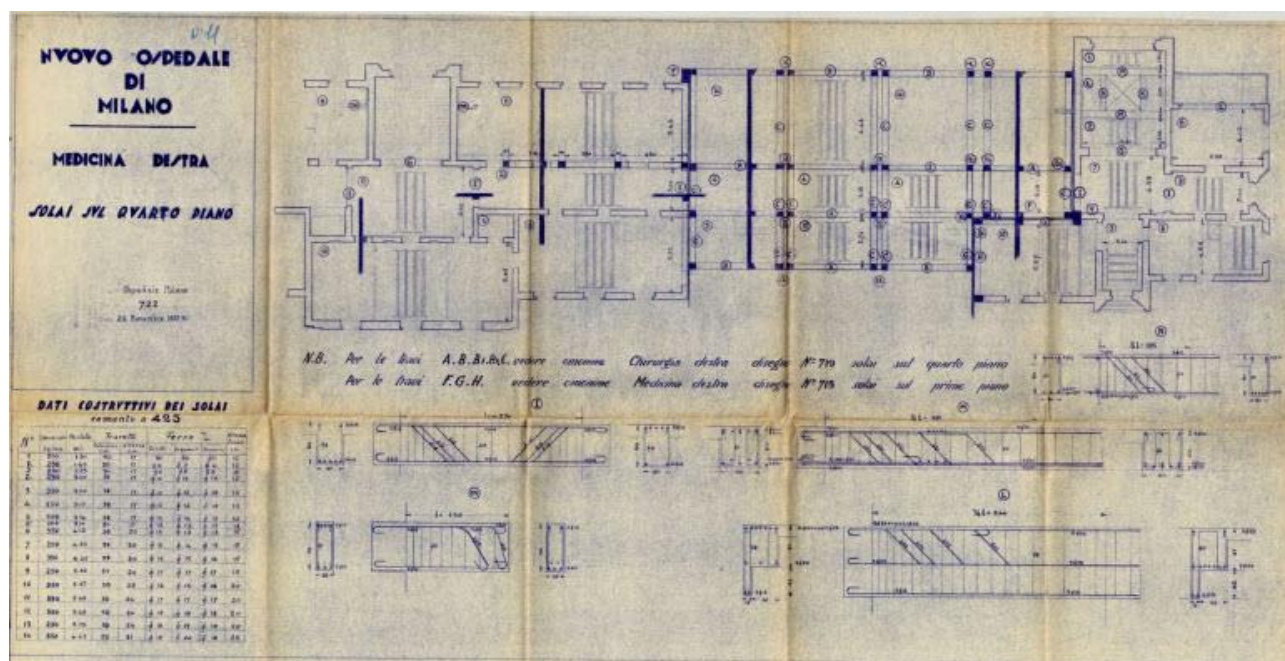


Figura 4 - Foto tavola del progetto originario - 1933 | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

L'analisi storico-critica ha confermato la presenza di **interventi parziali negli anni '90**, volti principalmente al risanamento e al consolidamento dei piani inferiori, senza tuttavia affrontare in modo organico la vulnerabilità sismica delle pareti portanti. I rilievi e le prove sui materiali hanno evidenziato un degrado diffuso delle malte e la discontinuità dei giunti murari, con resistenze meccaniche non compatibili con le prestazioni richieste dalle **NTC 2018**.

## Analisi della vulnerabilità sismica e iter di progetto

Il progetto di miglioramento sismico è stato avviato con la modellazione dello stato di fatto della struttura, sviluppata mediante **analisi agli elementi finiti** con il software **MasterSap**.

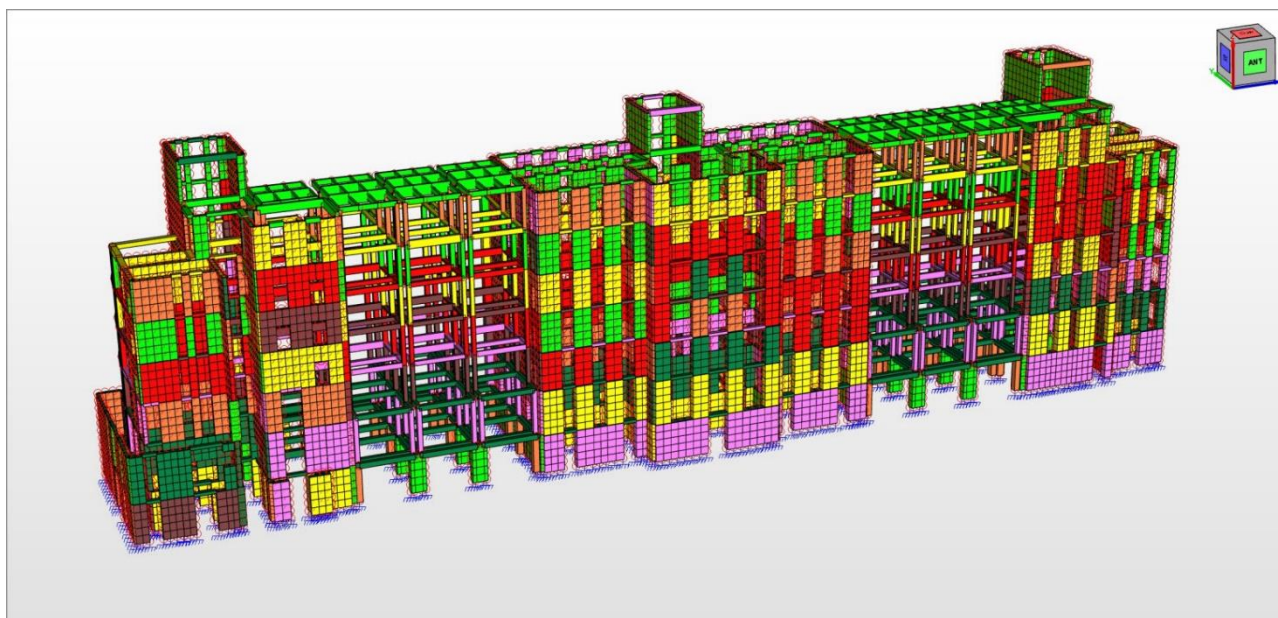


Figura 5 - Modello 3D della struttura esistente | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

Il modello ha riprodotto in modo realistico i setti murari, i collegamenti con i solai e le connessioni con gli elementi in calcestruzzo armato adiacenti, includendo le armature esistenti secondo quanto riportato nei progetti originali e considerando tutti i carichi previsti dalla normativa vigente.

## Valutazione dello stato di fatto

Le analisi hanno evidenziato importanti criticità strutturali, tra cui:

- **Tensioni verticali eccessive** in numerosi maschi murari, con indici di resistenza superiori all'unità (elementi non verificati);
- **Scarsa capacità a pressoflessione fuori piano**, con potenziale attivazione di meccanismi locali di ribaltamento;
- **Irregolarità geometriche** in pianta e in elevazione, responsabili di amplificazioni delle sollecitazioni sismiche e di concentrazioni di danno nei blocchi di testata e nel corpo centrale.

## Risultati dell'analisi pre-intervento (stato di fatto)

Le rappresentazioni grafiche delle verifiche, riportate nelle immagini qui di seguito, mostrano estese aree critiche nelle pareti longitudinali e trasversali, in particolare ai livelli inferiori, dove gli indici di resistenza risultano maggiori di 1.

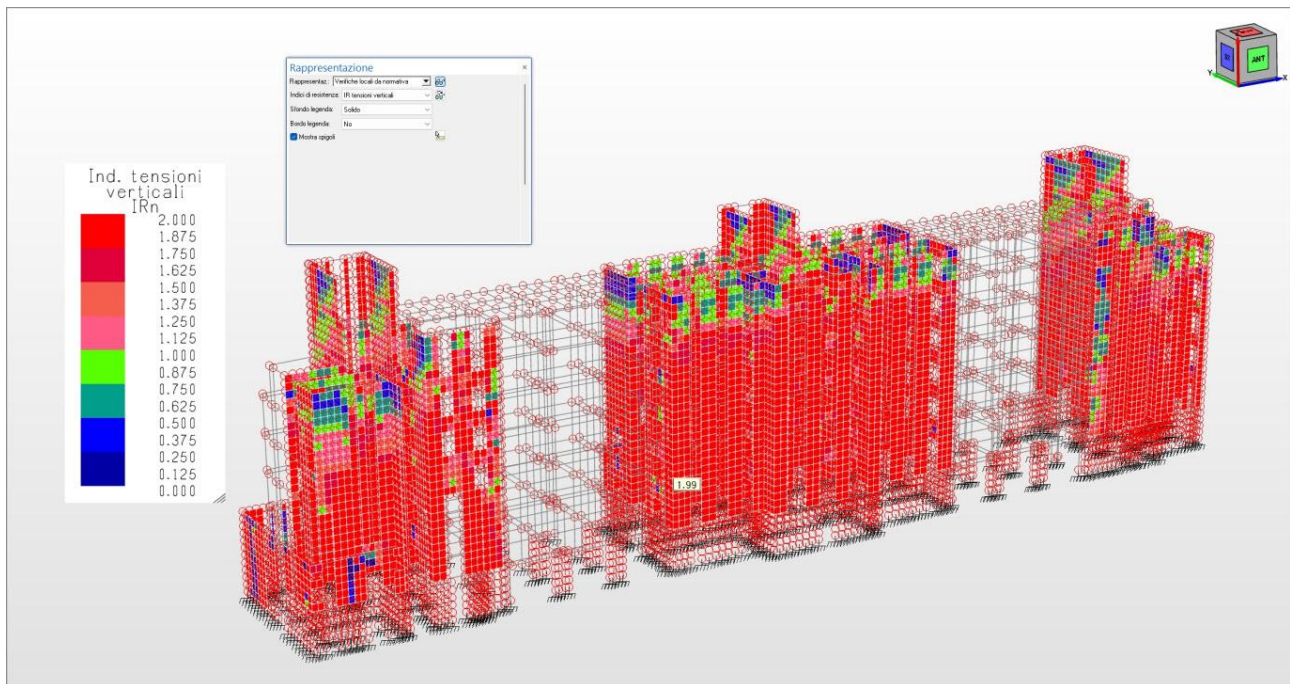


Figura 6 - Stato di fatto: Indici di resistenza alle tensioni verticali ( $>1$  non verificato) | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

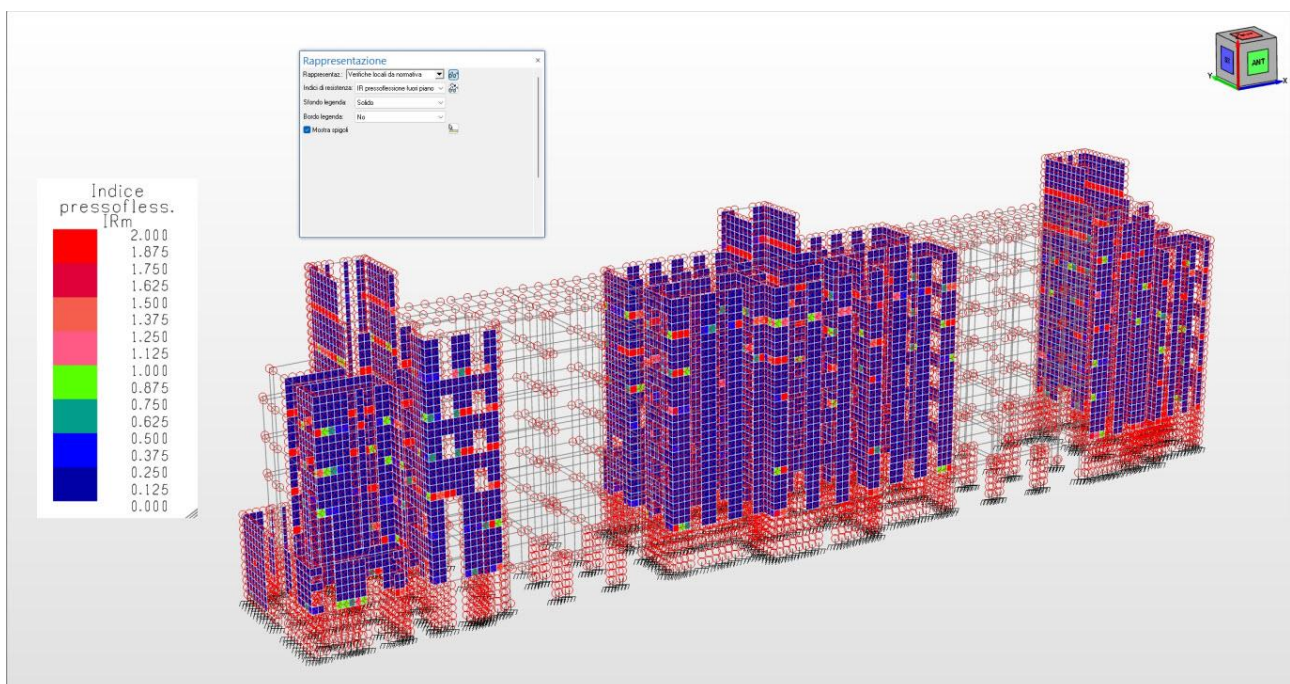


Figura 7 - Stato di fatto: Indici di resistenza alla presso-flessione fuori piano ( $>1$  non verificato) | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

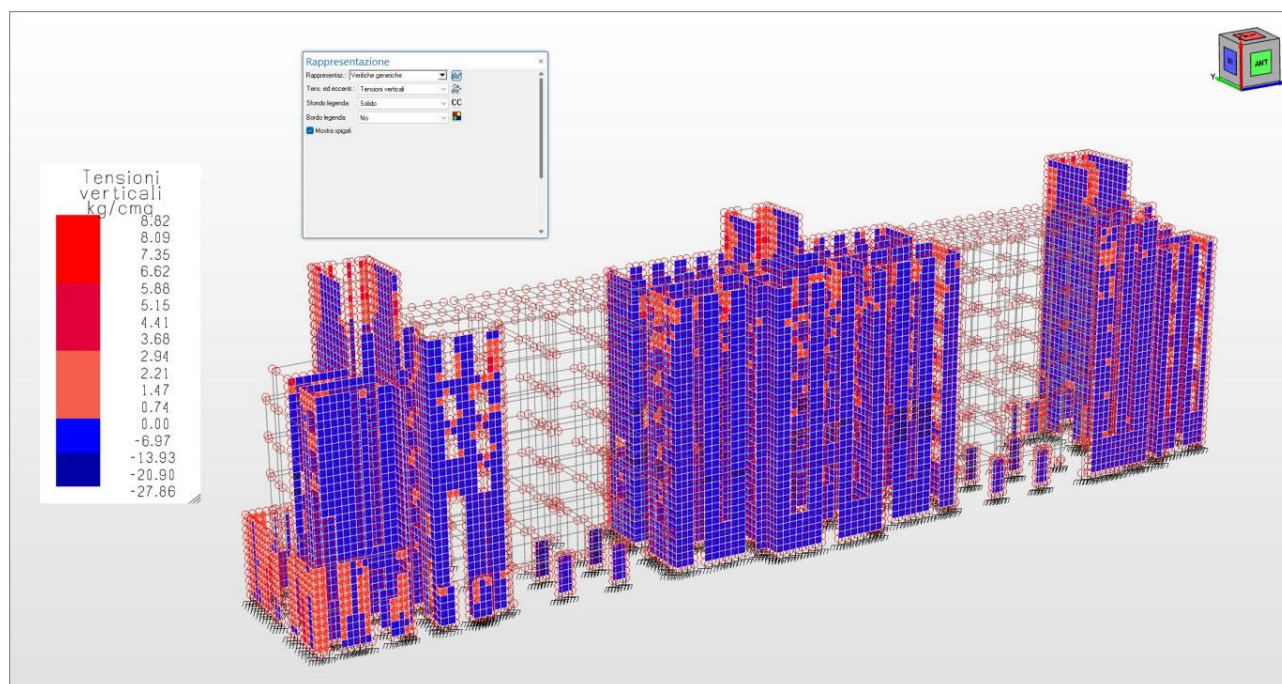


Figura 8 - Stato di fatto: Rappresentazione delle tensioni verticali da cui si evidenzia la presenza di tensioni di trazione |  
Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

Tali evidenze hanno confermato la **necessità di interventi strutturali sostanziali** per migliorare il comportamento globale dell'edificio che era stata prevista nel progetto esecutivo.

## Soluzioni progettuali

In una prima fase è stata analizzata la possibilità di applicare **intonaci armati** sulle murature portanti. Questa soluzione, tuttavia, non ha fornito incrementi di resistenza significativi e si è rivelata economicamente e tecnicamente poco conveniente, poiché avrebbe richiesto la posa su entrambe le facce dei muri, con rimozione e successivo ripristino delle pietre di facciata.

Inoltre, tale intervento è risultato inefficace in presenza di trazione, condizione nella quale la resistenza a taglio rimane nulla anche dopo l'applicazione di qualsiasi tipo di rinforzo locale. Alla luce delle criticità riscontrate e dei limiti delle soluzioni tradizionali, si è scelto di adottare una strategia di intervento basata sulla **modifica complessiva dell'assetto sismo-resistente dell'edificio**, piuttosto che sulla semplice mitigazione di fenomeni locali.

Il progetto ha quindi previsto:

- **Inserimento di nuovi setti in calcestruzzo armato interni (endoscheletro)**, collegati alle murature esistenti e destinati ad assorbire le azioni orizzontali e verticali;
- **Connessioni strutturali** tra i nuovi setti e le murature mediante ancoraggi e irrigidimento dei solai, per assicurare un comportamento scatolare d'insieme;
- **Mantenimento delle murature storiche** come elementi di tamponamento, preservando così l'aspetto architettonico originario delle facciate.

Questa soluzione ha consentito di evitare interventi invasivi o distruttivi sulle pareti esterne in pietra e, contemporaneamente, di **migliorare la risposta globale della struttura** riducendo le luci dei solai e aumentando la rigidezza complessiva.

## Valutazione dello stato di progetto

Sul modello di progetto, aggiornato con i nuovi setti e le connessioni strutturali, sono state condotte le verifiche di:

- maschi murari esistenti;
- nuovi setti in c.a.;
- travi e pilastri esistenti in c.a.

Le prime verifiche hanno evidenziato la necessità di **incamiciare alcuni elementi in c.a.** (travi e pilastri) per adeguarli alle nuove sollecitazioni indotte dall'assetto modificato.

Successivamente, sul modello aggiornato con le nuove inerzie derivanti dagli interventi di rinforzo, è stato effettuato il **controllo finale** che ha confermato l'esito positivo di tutte le verifiche strutturali.

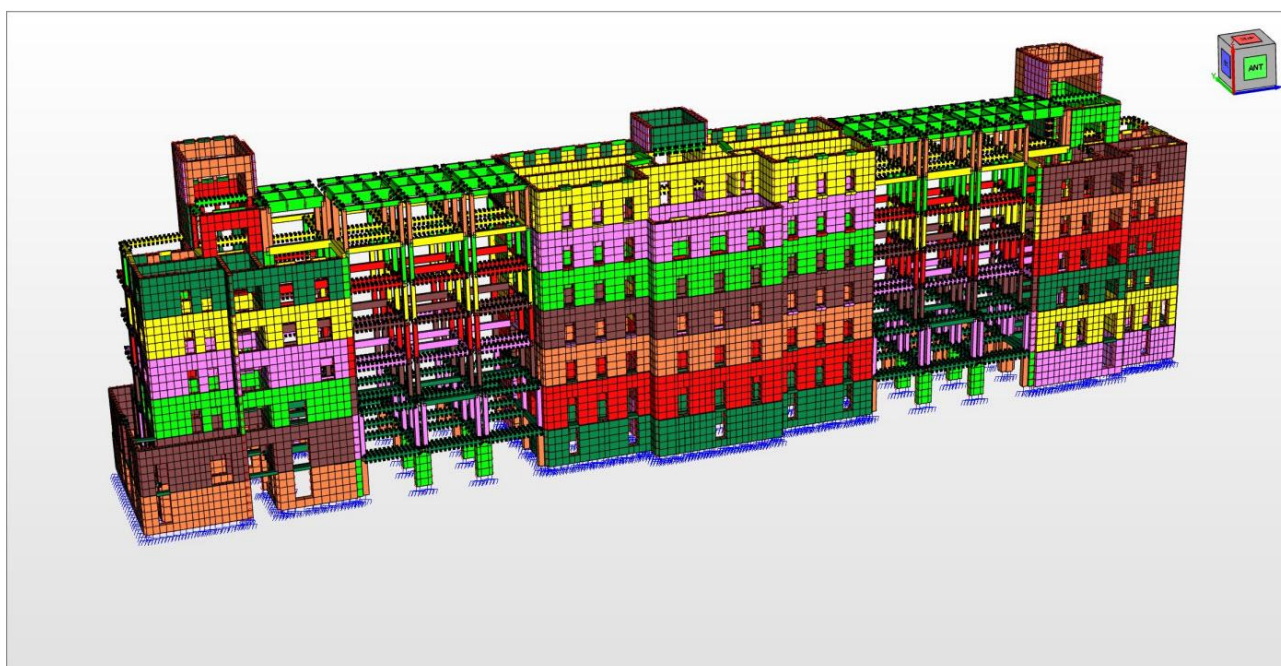


Figura 9 - Stato di progetto: Modello con incamiciatura in c.a. di travi e pilastri | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

## Risultati dell'analisi post-intervento (stato di progetto)

Le analisi dinamiche modali condotte sul modello dello stato di progetto hanno mostrato un netto **miglioramento** del comportamento globale della struttura:

- significativa **riduzione delle tensioni verticali e fuori piano** nei maschi murari;
- **incremento della rigidità laterale** dell'edificio;
- **eliminazione dei principali meccanismi locali di collasso**, grazie all'azione combinata dei nuovi setti e delle connessioni orizzontali.

Per una struttura classificata in **classe d'uso IV**, gli interventi di progetto hanno consentito di raggiungere un **indicatore di rischio sismico globale  $\zeta_E \geq 0,6$** , corrispondente a una **capacità sismica pari al 60% di quella richiesta per una nuova costruzione** della stessa categoria.

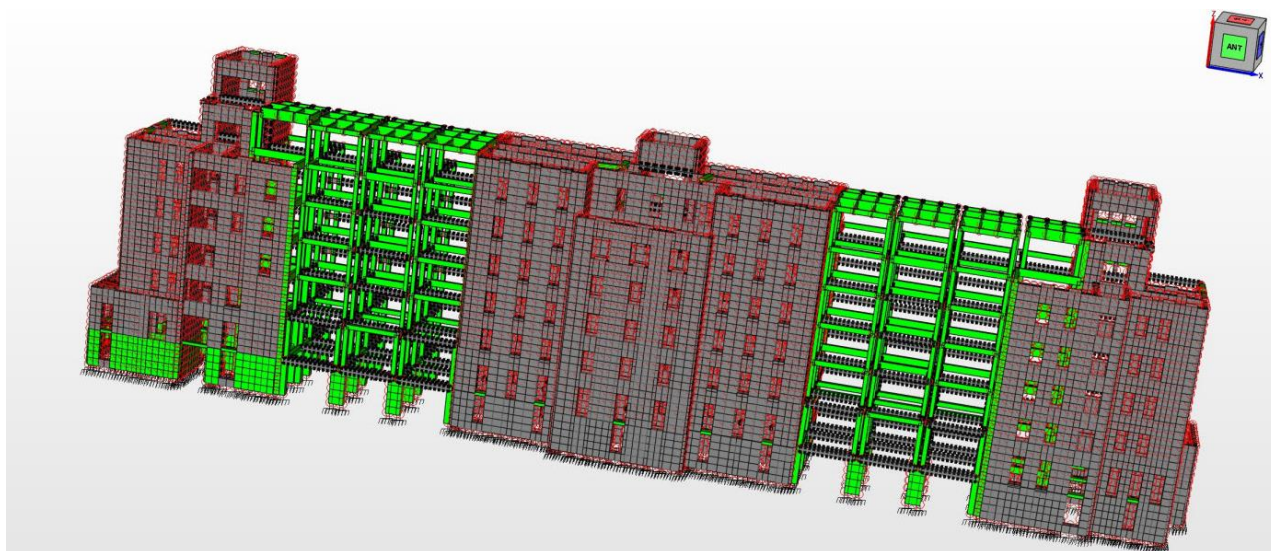


Figura 10 - Stato di progetto: Verifiche con esito positivo delle strutture esistenti in c.a. nel modello con incamiciatura in c.a. di travi e pilastri | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

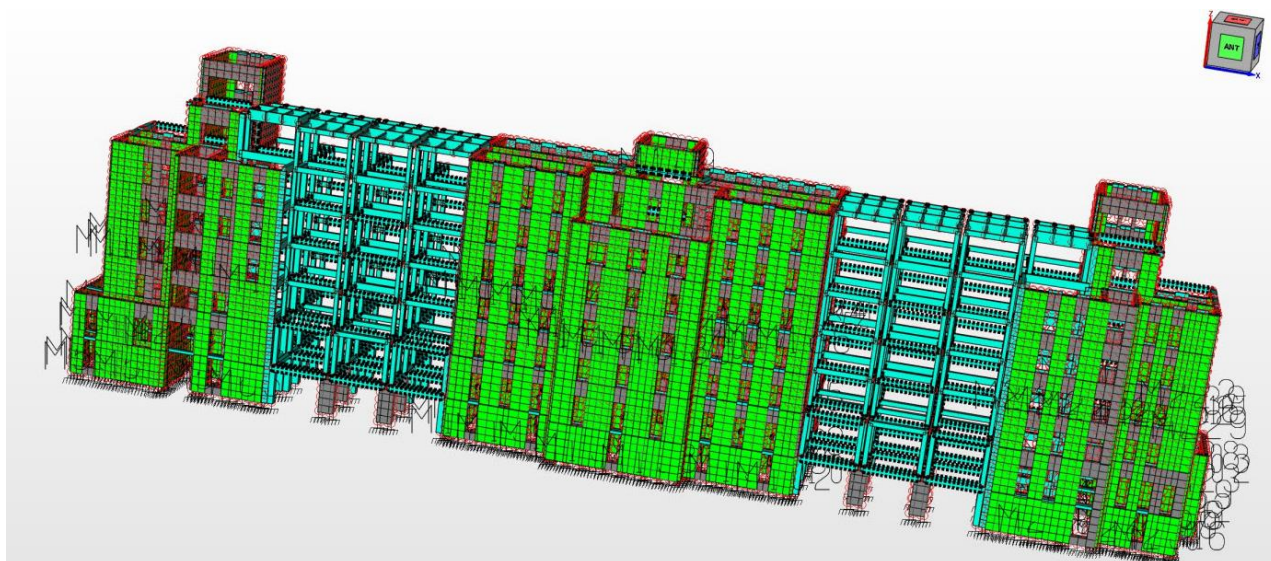


Figura 11 - Stato di progetto: Verifiche con esito positivo dei maschi murari esistenti nel modello con incamiciatura in c.a. di travi e pilastri | Crediti: Ing. Carlo Maria Zaretti SD PARTNERS

## Conclusioni

L'intervento sul **Padiglione 11 del Niguarda** costituisce un esempio emblematico di **approccio integrato alla riqualificazione sismica** di edifici esistenti, nel quale la modellazione numerica avanzata ha guidato la definizione di soluzioni tecniche coerenti con il valore storico e funzionale dell'opera.

L'utilizzo di **MasterSap** ha permesso una gestione completa e coerente del processo di verifica e progettazione — dalla definizione del livello di conoscenza, alla simulazione dei meccanismi resistenti, fino alla validazione delle prestazioni migliorate — dimostrando come la **tecnologia digitale possa supportare interventi strutturali complessi** garantendo al tempo stesso **sicurezza, sostenibilità e conservazione del patrimonio edilizio esistente**.

## Crediti e autorizzazioni alla pubblicazione

Il **progetto delle opere strutturali** è a cura dell'Ing. **Carlo Maria Zaretti** di **SD PARTNERS Architettura e Ingegneria**, che ha gentilmente messo a disposizione il materiale tecnico e documentale (relazioni ed elaborati) utilizzato per la redazione del presente dossier tematico.

La **pubblicazione di questo articolo** è stata autorizzata dal progettista e dalla **Azienda Socio-Sanitaria Territoriale Grande Ospedale Metropolitano Niguarda**, committente dell'intervento.