



CITTA' DI GROTTAMMARE

(Provincia di Ascoli Piceno)

Via Matteotti, 69 - Tel. 0735 739218 - comune.grottammare.protocollo@emarhce.it

Area Gestione del Patrimonio - Responsabile Arch. Liliana Ruffini

MESSA IN SICUREZZA CONTRO IL RISCHIO SISMICO: RIFACIMENTO SOLAI SCUOLA "G. SPERANZA"

Progetto Definitivo - Esecutivo

Stato di Progetto

Relazione Sintetica Strutturale

(art.33 co.1 lett.b e art.35 del D.P.R. 05.10.2010, n.207)

Elab. D.a

NOVEMBRE 2019

Responsabile del progetto
Arch. Bernardino Novelli

Responsabile del Procedimento
Arch. Liliana Ruffini

Supporto al progetto strutturale
Ing. Carlo Cesaroni



Collaboratori:
Geom. Sante Cocci
Geom. Stefania Pulcini
Geom. Rosa Benassati

RELAZIONE SINTETICA STRUTTURALE

(art.33 co.1 lett.b e art.35 del D.P.R. 05.10.2010, n.207)

INQUADRAMENTO

L'intervento di miglioramento sismico in oggetto, ai sensi del punto §8.4.2 del D.M.17.01.2018 e del punto C8.4.2 della Circolare del 21.01.2019 n°7 C.S.LL.PP., riguarda l'edificio ospitante la scuola primaria "Giuseppe Speranza" sito in via Giuseppe Garibaldi n°39 nel comune di Grottammare (AP).

L'edificio della scuola primaria "Giuseppe Speranza" ricade in classe d'uso III (p.to 2.4.2. del D.M. Infrastrutture 17/01/2018) ed è ubicato all'interno del "Centro Storico" del Comune di Grottammare.

La scuola statale primaria "G. Speranza" di Grottammare (AP) fu edificata a partire dal 1911, su via Regina Margherita, l'attuale via Garibaldi, che costituì la prima estensione del Nuovo Piano Regolatore Municipale. Lo strumento urbanistico fu redatto dall'ingegnere Attilio Pinocchi e promosso dell'allora Sindaco Ricciotti, allo scopo di offrire risposta al crescente incremento demografico che in quei tempi investiva la città di Grottammare e alla conseguente intensa attività edilizia.



L'edificio scolastico "Giuseppe Speranza" si presenta al margine meridionale della prima espansione urbana del secolo scorso dell'abitato di Grottammare, oltre la quale fino al 1911 "vi era solo la silenziosa strada Statale che percorreva una desolata campagna sino alle porte di San Benedetto del Tronto".

L'architetto Vincenzo Pilotti nutriva la convinzione che "le città vivano e respirino e si modificano nel corso dei secoli, e l'architettura le segue e le accompagna nel proprio sviluppo". Le sue opere rappresentano il conflitto in atto, nei primi decenni del Novecento, tra la tesi dichiarante la città luogo di memorie e l'architettura quale manifesto dell'opera del progettista.

L'edificio di notevoli dimensioni, ospitante la scuola primaria "Giuseppe Speranza", si eleva per un'altezza complessiva di circa 17 m., su un impianto planimetrico simmetrico a forma di acca ed esibisce contaminazioni stilistiche e morfologiche ricorrenti nelle realizzazioni architettoniche ad esso contemporanee. Il partito di facciata, ritmato e articolato dalle ampie bifore al primo piano e dalle notevoli aperture ricorrenti al piano rialzato-terra, corredate da architrave su cui sono impostati archi a tutto sesto

Dott. Ing. Carlo Cesaroni, Via San Giuseppe n. 5, 63066 Grottammare (AP)

Tel/Fax: 0735500557 – mobile: 3358121816 -e-mail: carlo-_cesaroni@libero.it –posta certificata: carlo.cesaroni2@ingpec.eu

e a sesto acuto, è caratterizzato da paramento murario di laterizio con finitura a vista, cinto da un marcapiano binato, modanato e impostato su di un ampio basamento intonacato. La facciata è completata da un'elegante cornice affrescata con motivi floreali. Notevoli i portali caratterizzati da apparati decorativi costituiti da paraste sormontate da timpano con archi a sesto ribassato e a sesto acuto con frontone arricchito da motivi fitoformi. L'edificio si costituisce come un raffinato esempio di architettura liberty marchigiana del tempo, in un contesto urbano, quello di Grottammare, dove l'art nouveau ha radicato forme espressive semplici ma significative.

L'organismo strutturale è in muratura portante e si sviluppa su più livelli, ossia un piano seminterrato, un piano rialzato (terra), un piano primo ed un sottotetto.

Attualmente, per la funzione scolastica che ospita, nel seminterrato troviamo i servizi mensa, mentre le aule, gli uffici ed i servizi igienici sono distribuiti sui piani terra e primo.

Il collegamento tra il piano seminterrato e i piani superiori è consentito mediante due corpi scala posti ad est ed ovest nonché da un ascensore adatto anche a persone con disabilità.

La struttura portante verticale dell'edificio oggetto dell'intervento di miglioramento sismico, ai sensi del punto §8.4.2 del D.M.17.01.2018 e del punto C 8.4.2 della Circolare del 21.01.2019 n°7 C.S.LL.PP., consta prevalentemente di una muratura mista avente un paramento esterno costituito da mattoni pieni in laterizio legati con calce e un paramento interno di blocchi in conglomerato cementizio naturale.

Al livello del seminterrato, nell'ala ad ovest, sono presenti delle volte in muratura di mattone pieno e malta di calce.

Al livello del sottotetto furono ricostruiti in parte i muri di spina sia longitudinali che trasversali impiegando blocchi di laterizio semipieno portante di spessore pari a 30 cm legati con malta cementizia.

DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI NEL TEMPO

La ricostruzione dell'evoluzione nel tempo dell'edificio, di particolare difficoltà per la scarsa documentazione presente agli atti, è stata desunta dalla consultazione di documenti contabili di cantiere, verbali di collaudo, notizie storiche, vecchi documenti e pubblicazioni a carattere artistico, reperiti sia negli archivi comunali che nella biblioteca civica ed altro ancora.

Sviluppato in origine su due livelli più un piano seminterrato, eccezion fatta per il corpo ovest, il quale, dal piano seminterrato sviluppava un ambiente a tutta altezza, l'edificio scolastico è stato oggetto di numerosi interventi di recupero funzionale e statico.

Il primo di essi è risalente al 1955, il cui indirizzo è teso alla realizzazione, nel corpo ovest, del piano primo e una nuova distribuzione del piano terra e del seminterrato; inoltre la costruzione di un impalcato, in cemento armato, nel sottotetto, necessario allo scopo di "tenere la testa" delle partizioni del piano primo, le quali configurano una nuova ripartizione funzionale del piano medesimo.

Nel 1967 è eseguito un secondo rilevante intervento necessario al consolidamento del solaio di copertura e del sottostante plafone, in camera canna, caratterizzato da lesioni che in "qualche punto minacciano rovina" così come recita la relazione di progetto eseguita dal tecnico comunale Filippo Pirani.

Nel 1973 sono oggetto di consolidamento strutturale i solai del piano rialzato e del piano primo su progetto dell'ing. Pietro Laureati e nel 1984 su progetto del tecnico comunale Marcello Wick e dell'ing. Pietro Laureati è eseguita la demolizione del solaio di copertura ligneo, del plafone in camorcanna, in avanzato stato di vetustà, e la realizzazione di un solaio in cemento armato con travetti precompressi dello spessore di 24 cm. In corrispondenza del corpo ovest è eseguita la demolizione dell'impalcato in cemento armato risalente al 1955 e ricavato un vano deputato ad accogliere un ambiente palestra, le cui strutture portanti verticali sono costituite da quattro pilastri in cemento armato di dimensioni 40x40 cm.

Nel 1997 è promosso dall'amministrazione comunale un vasto piano di adeguamento funzionale, dei maggiori plessi scolastici municipali. Presso la scuola "Giuseppe Speranza" si attuano interventi di abbattimento delle barriere architettoniche e adeguamento alla disciplina normativa antincendio.

Nel 2000 e nel 2002 sono oggetto di riattamento gli impianti tecnologici che servono l'edificio, con particolare interesse alla centrale termica, alle provvidenze di tutela contro gli incendi, e la realizzazione del refettorio scolastico al piano seminterrato.

Successivamente nel 2004 viene realizzato un complesso intervento di adeguamento funzionale, sismico ed antincendio della scuola, che offre risposte, fra l'altro, alle necessità di riequilibrare la distribuzione planimetrica delle murature resistenti al sisma dell'ala ovest dell'edificio, attraverso: la sostituzione dei pilastri del piano seminterrato con nuove pareti verticali, e dei muri staticamente compromessi del piano terreno; la sostituzione della soletta del piano terra, non più adeguata alla normativa vigente, con un nuovo orizzontamento; la sostituzione della soletta del piano terra con un nuovo solaio la cui modalità costruttiva ha previsto l'esecuzione dei lavori ai piani inferiori mantenendo sospesi i piani primo e sottotetto per mezzo di una struttura provvisoria in profilati d'acciaio, i quali, a causa dei carichi elevatissimi gravanti su di essi sono stati fondati su una trave eseguita sul piano terreno, previo consolidamento del terreno di fondazione sottostante. Il consolidamento eseguito nel 2004, di notevole entità, ha offerto anche l'occasione per adeguare funzionalmente una parte dell'edificio e per eseguire tutte le opere necessarie all'acquisizione del Certificato Prevenzione Incendi.

Con Delibera n° 15 del 20-02-2006 la Giunta Comunale ha impartito specifici indirizzi amministrativi per la redazione di un progetto per completare l'adeguamento sismico dell'edificio, ai sensi dell'Accordo di programma quadro in materia di "Sicurezza degli edifici e delle infrastrutture". Il progetto 2006 di restauro generale prevedeva una serie sistematica di interventi, volti sostanzialmente a correggere i difetti sopra illustrati, che consistevano nella modifica sistematica e razionale delle aperture presenti e nel ritorno ad una copertura in legno in modo da aumentare le pareti resistenti e, nel contempo, ridurre le masse inerziali di sommità e quindi le azioni di taglio sismico; tali lavori avrebbero consentito di raggiungere l'adeguamento sismico totale. Il progetto primo stralcio predisposto all'epoca, relativo all'esecuzione delle opere strutturali, era pari a € 2.046.000,00;

Il progetto non è stato mai realizzato nella sua interezza per mancanza di fondi, ma un primo stralcio del complessivo intervento è stato rivisitato ed adeguato a nuove normative entrate in vigore (in particolare per gli aspetti sismici) e ad esigenze funzionali specifiche espresse dalla direzione didattica, per permettere: l'adeguamento sismico parziale dell'edificio; l'adeguamento funzionale dei locali sottotetto su richiesta della direzione didattica.

L'intervento in argomento, per l'importo complessivo di € 1.000.000 è stato trasmesso alla Regione Marche ed è stato inserito nella Programmazione triennale 2015-2017 approvata con Decreto del Dirigente della PF Edilizia ed espropriazione – EDI n. 17/EDI del 30-04-2015, in seguito con Decreto del Dirigente P.F. Edilizia ed Espropriazione n. 9/EDI del 14-04-2016 della Regione Marche è stata approvata la graduatoria unica del piano del fabbisogno finanziario regionale in materia di edilizia scolastica per il triennio 2015-2017, aggiornata al 2016, nella quale risulta inserito il progetto presentato dal Comune di Grottammare in riferimento al restauro ed all'adeguamento sismico dell'edificio scolastico "G. Speranza", per l'importo di € 1.000.000,00. I lavori sono stati affidati e sono attualmente in corso di esecuzione.

Nel 2015, in riferimento alle parti di edificio non ancora sottoposte a intervento, è stato acquisito l'importo di € 4.000 per l'effettuazione di indagini diagnostiche sui solai. Le indagini sono state effettuate nel 2016 e gli esiti hanno determinato l'obbligo del non utilizzo dei solai del piano rialzato e primo lato est dell'edificio in quanto non risultati idonei all'uso al quale erano destinati. Le risultanze delle indagini effettuate sono state rendicontate all'interno del sistema predisposto allo scopo dal MIUR, con l'indicazione anche delle somme richieste, pari a € 1.000.000,00 per gli interventi necessari al ripristino delle condizioni di conformità alla normativa vigente.

Il Comune di Grottammare con Decreto MIUR 21/01/2018, n. 1007, vistato dalla Corte dei Conti in data 29/01/2018, è risultato assegnatario del finanziamento di € 1.000.000,00 in riferimento all'intervento strutturale per la scuola elementare "Giuseppe Speranza", come comunicato dalla Regione Marche con nota assunta la protocollo comunale in data 08/02/2018, n. 3561.

PROVE SUI MATERIALI

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, sono stati presi in considerazione i risultati delle prove che furono eseguite sulle tipologie murarie che compongono l'edificio, nello specifico:

- Nell'ottobre del 2003 "*Indagini sulla muratura e sulle fondazioni della scuola elementare G. Speranza*" (documento in allegato);
- Nel maggio del 2005 "*Integrazione rispetto alle prove del 30 luglio 2004 delle indagini sui materiali delle strutture portanti dell'edificio*" (documento in allegato);

Sono stati presi in esame anche i valori impiegati dall'ing. Vittorini per eseguire la modellazione strutturale dell'edificio desunti dalla "*Relazione per la verifica sismica dell'edificio allo stato riformato e di calcolo delle nuove strutture*" nel marzo del 2015 (documenti in allegato).

Pertanto, sulla base di quanto sopra premesso, nella modellazione strutturale dell'edificio in esame sono state impiegati materiali con le seguenti caratteristiche meccaniche:

TIPOLOGIA DI MURATURA	PIANO	MODULO ELASTICO SECANTE
Muratura 11: <i>blocchi cls e mattone pieno</i>	Muri di bordo e di spina PIANI SEMINTERRATO, TERRA, PRIMO, SOTTOTETTO	26999,00 Kg/cm²
Muratura 16: mattone pieno e calce	Volte Murarie PIANO SEMINTERRATO	15000,00 Kg/cm²
Muratura 14: laterizio semipieno e malta	Muri di spina SOTTOTETTO	53000,00 Kg/cm²

Avendo una conoscenza approfondita sulla costruzione, è stato considerato un livello di conoscenza LC3 con un fattore di confidenza F_C pari a 1.

TIPOLOGIA DI MODELLAZIONE ADOTTATA

Per valutare il comportamento globale della struttura in risposta alle azioni sismiche, si esegue lo studio della vulnerabilità sismica dell'edificio differenziando due situazioni:

- *Ante – Operam (stato attuale);*
- *Post-operam (stato post- intervento).*

La vulnerabilità sismica di una costruzione, il cui indicatore mette in relazione la capacità di resistenza della struttura e la richiesta in termini di resistenza e/o spostamento del sisma, delinea la predisposizione della stessa a subire danneggiamenti e crolli: pertanto, quanto più un edificio risulta vulnerabile (tipologia, progettazione inadeguata, materiali di scadente qualità, modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze su di esso.

Le procedure più complesse ed affidabili per valutare la vulnerabilità sismica di un edificio e di conseguenza studiarne il comportamento dinamico sotto l'azione sismica si basano su analisi numeriche eseguite mediante metodi di calcolo lineari e non lineari.

Nel caso in esame, per tenere conto del comportamento non lineare della struttura, il quale incide profondamente sulla sua capacità di resistere all'azione sismica, è stata condotta l'*analisi pushover* o *analisi sismica statica non lineare* sul modello globale agli elementi finiti dell'edificio rappresentato nella sua completezza (geometria e caratteristiche meccaniche).

ANALISI PUSHOVER DELLO STATO ATTUALE

È stata condotta l'*Analisi Pushover* o *Analisi sismica statica non lineare* sul modello agli elementi finiti dell'edificio allo stato di fatto rappresentato nella sua completezza (geometrica e meccanica).

Sono stati impiegati sia elementi di tipo 'frame' necessari per la modellazione di pilastri, travi, sia elementi di tipo 'shell' per la modellazione dei setti in muratura, che elementi di tipo piastra per la modellazione delle piastre in c.a.

È stata inserita la stratigrafia del terreno di fondazione, impiegando le caratteristiche geologiche di ciascuno strato, ognuno caratterizzato dai propri parametri geotecnici, ai fini di una corretta discretizzazione meccanica del sito su cui insiste l'edificio oggetto di studio.

Lo studio geologico e geofisico è stato condotto dal Geologo Dott. Giuseppe Capponi iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Marche Geologo Specialista al n° 373.

Nello svolgimento dell'analisi pushover, è stato considerato esclusivamente il contributo delle due componenti orizzontali dell'azione sismica tralasciando quello della componente verticale, ai sensi dei punti §3.2.3.1, § 7.3.5 e §7.2.2 del D.M.17.01.2018.

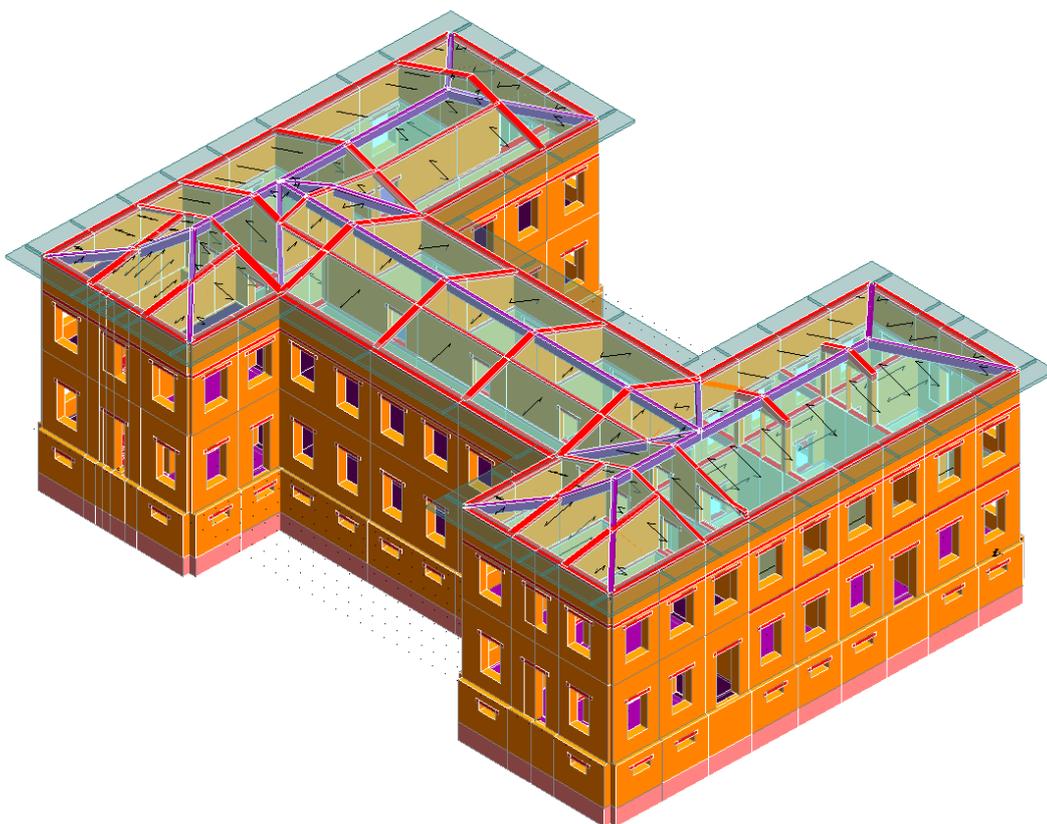
Difatti, nel §3.2.3.1 si specifica che la componente verticale deve essere considerata *ove espressamente specificato (Capitolo 7) e purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo pari ad $a_g \geq 0,15 g$.*

Successivamente al §7.3.5 si specifica che, la risposta alle diverse componenti dell'azione sismica viene calcolata *unitariamente per le tre componenti, applicando l'espressione $1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z$ in ogni caso la componente verticale deve essere tenuta in conto unicamente nei casi previsti al §7.2.2.* Infine, al §7.2.2 si precisa che la suddetta componente verticale dell'azione sismica deve essere considerata, **in aggiunta** a quanto indicato al §3.2.3.1, anche in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastro in falso, edifici con piani sospesi, ponti e costruzioni con isolamento.

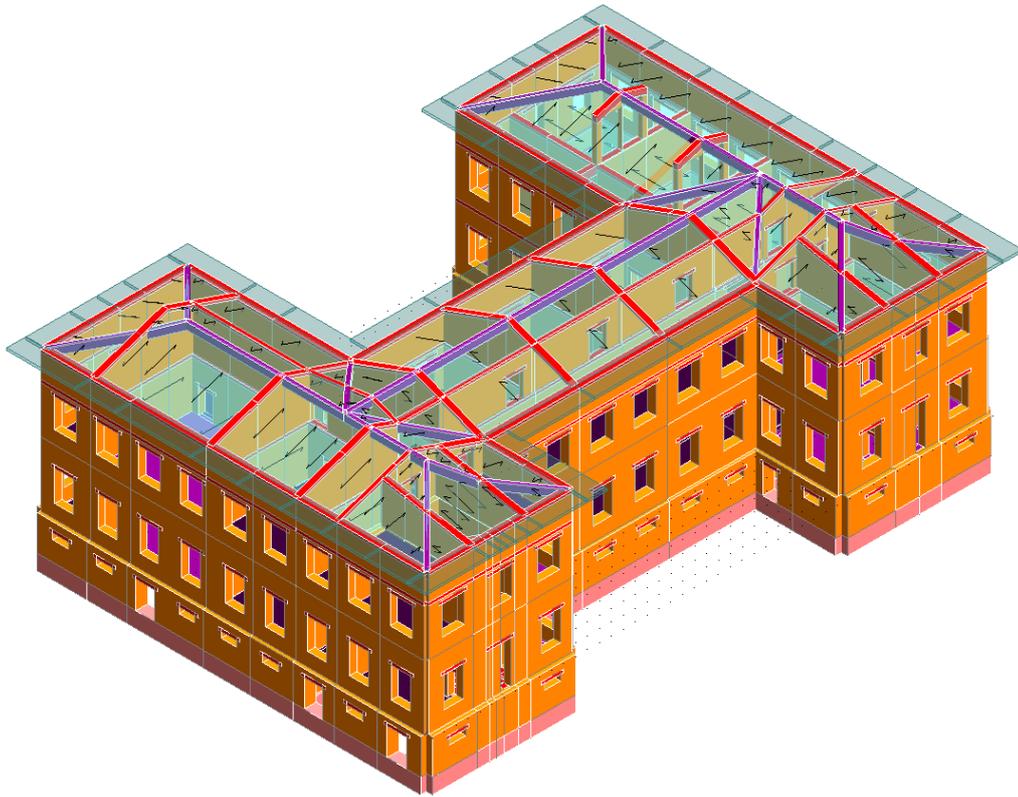
Ne consegue che, sebbene il sito su cui sorge la costruzione in esame sia caratterizzato da un valore di a_g allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) pari a 0,272 g e quindi superiore a 0,15 g (§3.2.3.1), la tipologia di struttura oggetto del presente progetto di adeguamento sismico **non rientra** tra quelle menzionate al punto §7.2.2., motivo per cui non è stato considerato il contributo della componente verticale del sisma.

L'analisi pushover dell'edificio allo stato attuale (stato di fatto o ante-operam) è stata condotta considerando un livello di conoscenza **LC1** (conoscenza esaustiva), a cui corrisponde un fattore di confidenza pari a 1,00 tramite cui sono stati ridotti i valori medi delle resistenze della muratura componente gli elementi strutturali esistenti.

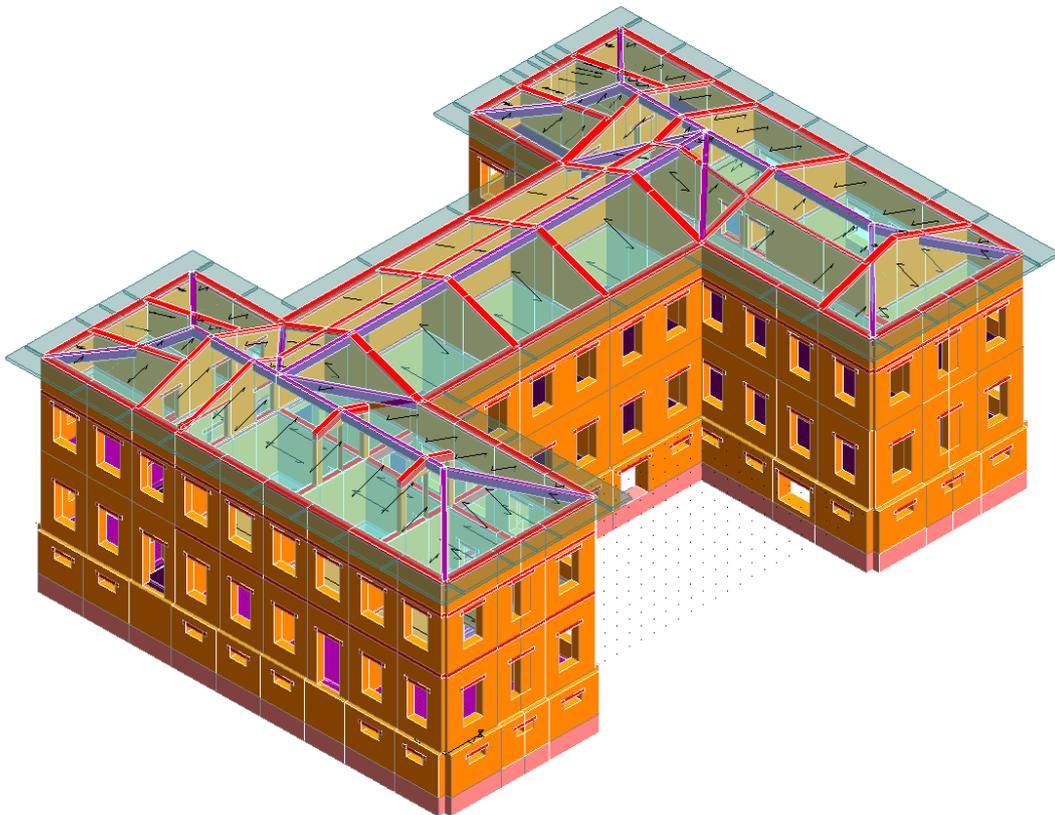
Di seguito si riportano le viste tridimensionali della modellazione strutturale agli elementi finiti della scuola statale "Giuseppe Speranza" allo stato di fatto, nonché le piante e le posizioni geometriche dei centri di massa (X_G, Y_G) e di rigidezza (X_R, Y_R) di ogni impalcato strutturale.



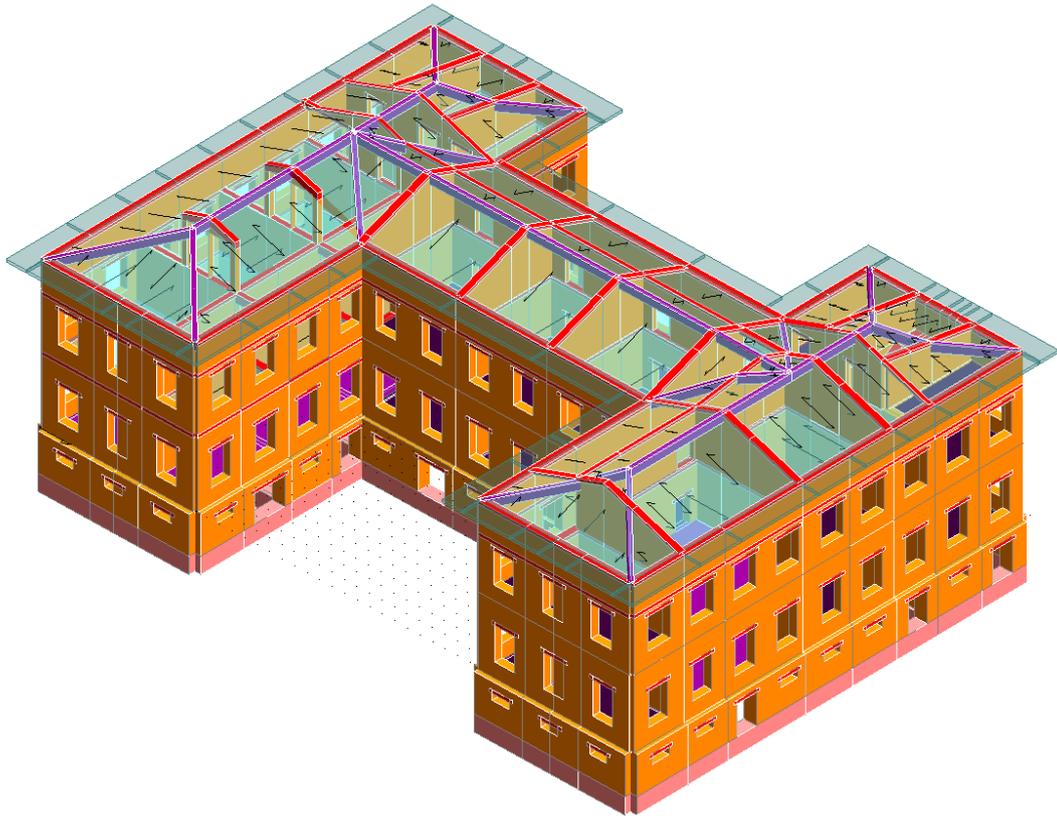
VISTA 3D N°1 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO DI FATTO.



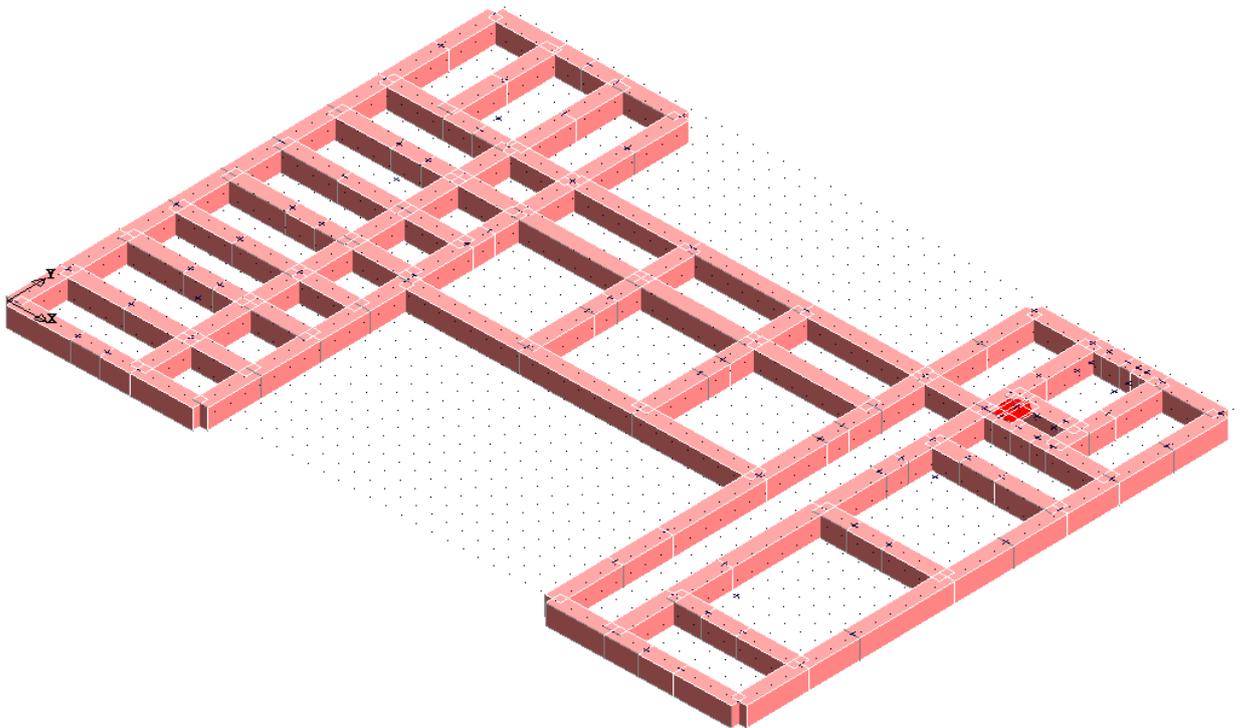
VISTA 3D N°2 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO DI FATTO.



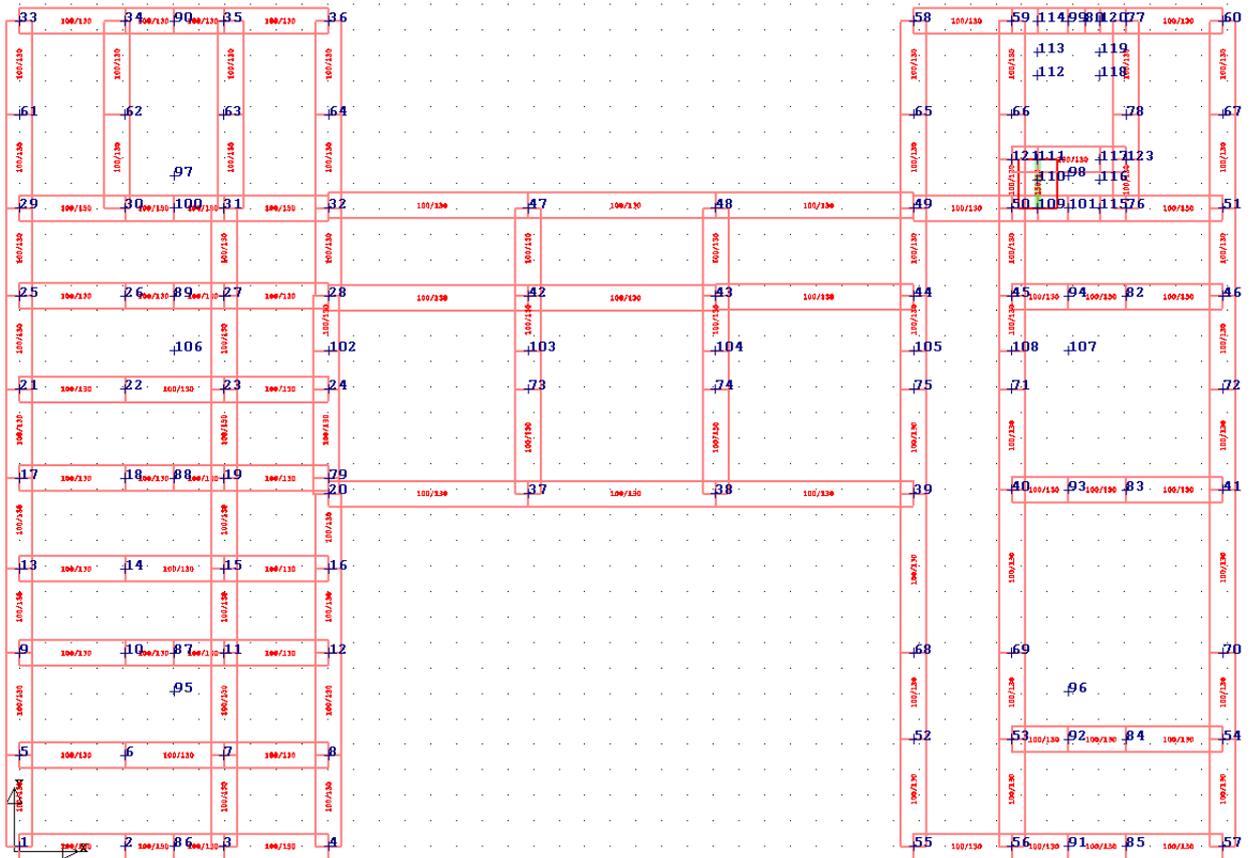
VISTA 3D N°3 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO DI FATTO.



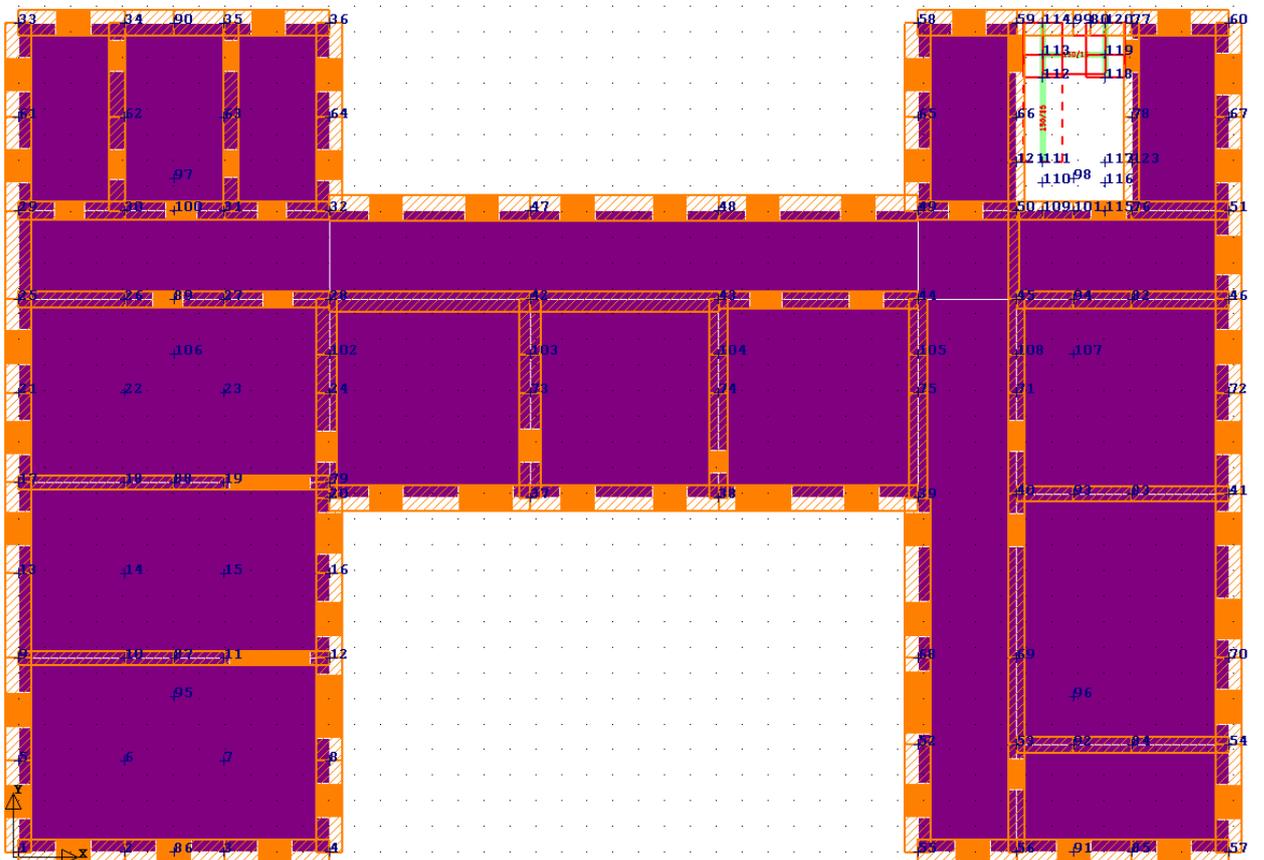
VISTA 3D N°4 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO DI FATTO.



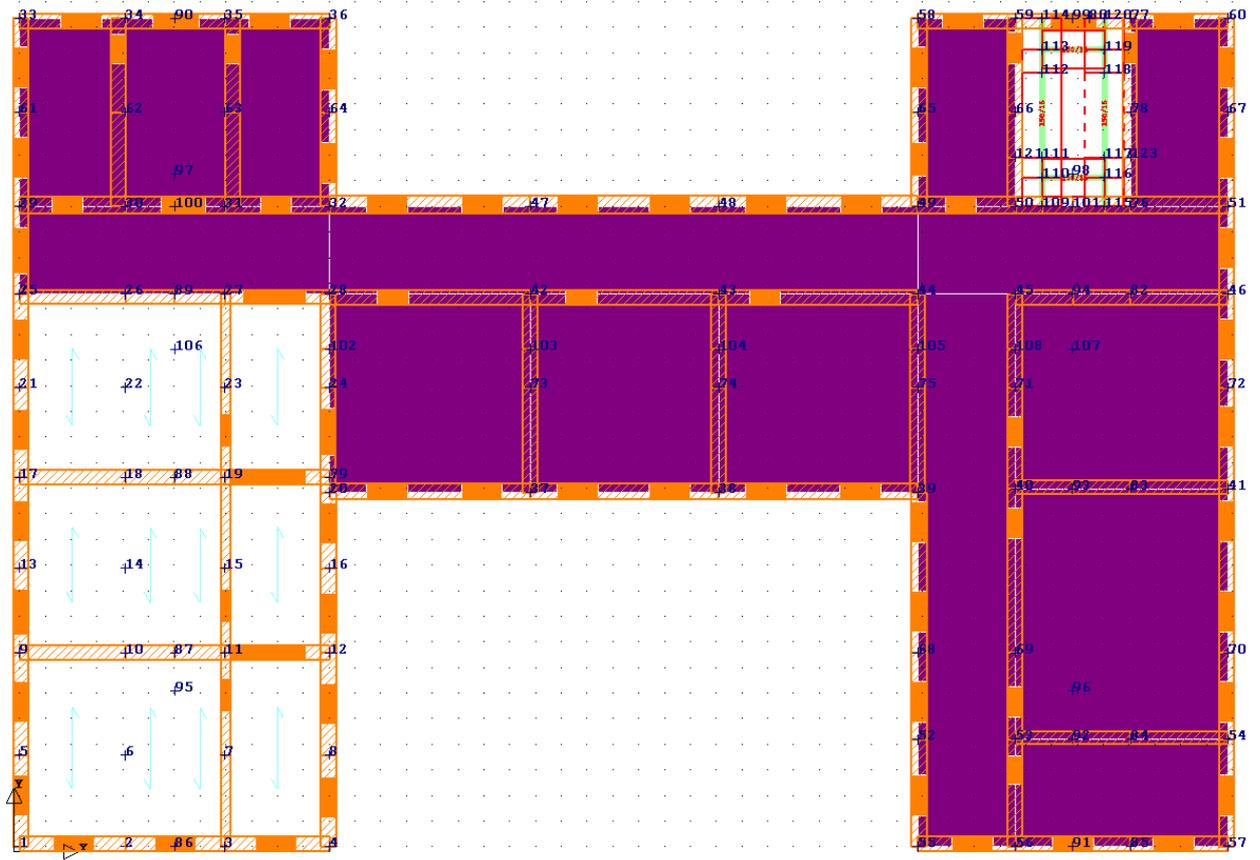
VISTA 3D DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELLE FONDAZIONI DELL'EDIFICIO ALLO STATO DI FATTO.



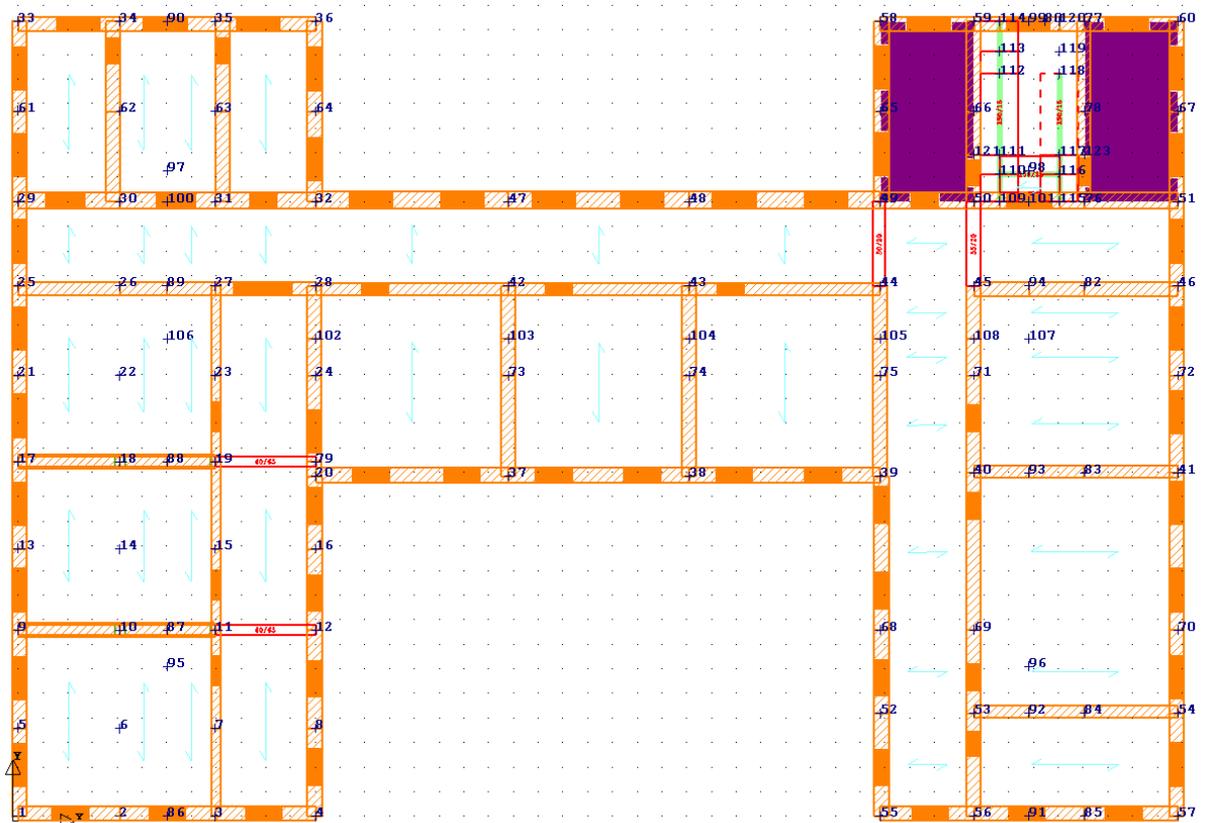
PIANTA DELLE FONDAZIONI (IMPALCATO STRUTTURALE - STATO DI FATTO QUOTA 0,00 m.).



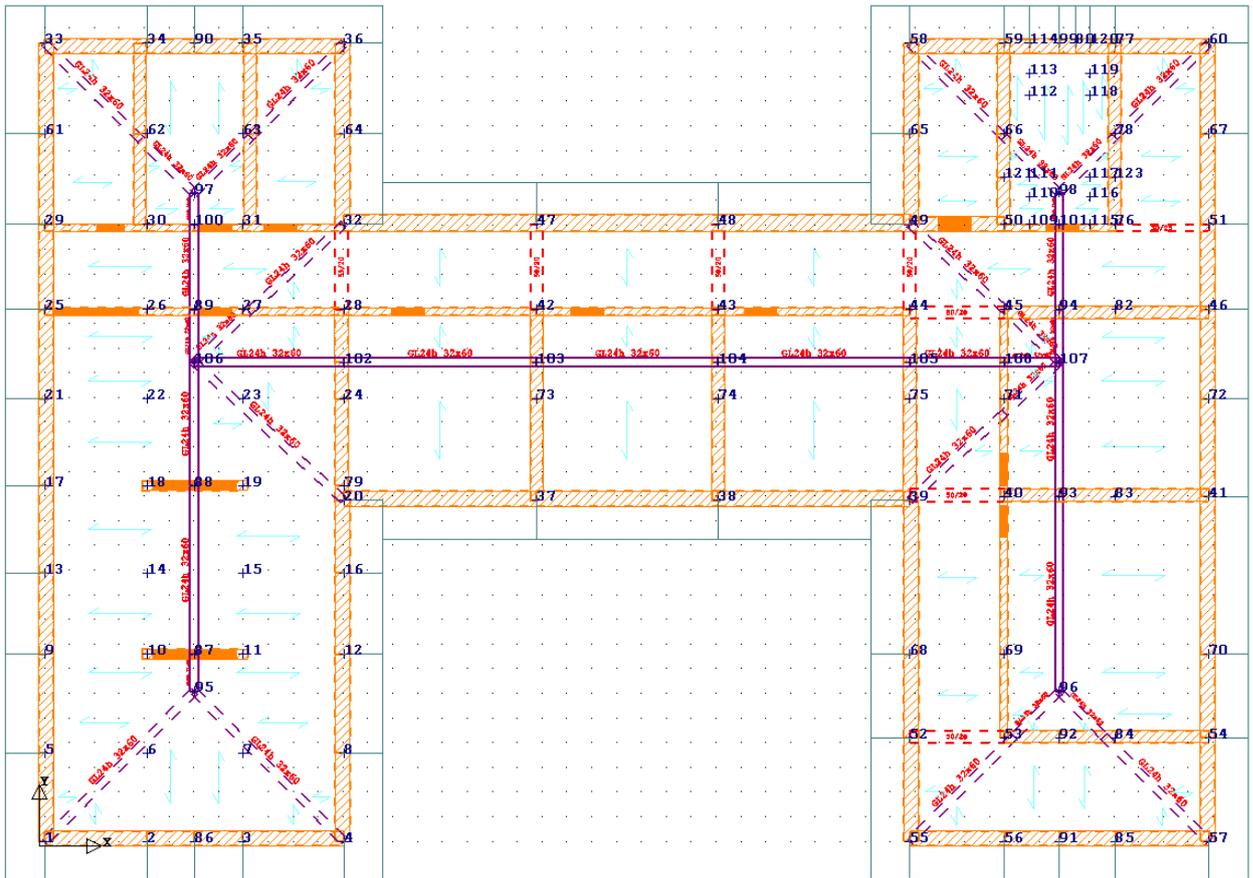
PIANTA DEL SEMINTERRATO (IMPALCATO STRUTTURALE - STATO DI FATTO QUOTA 3,00 m.).



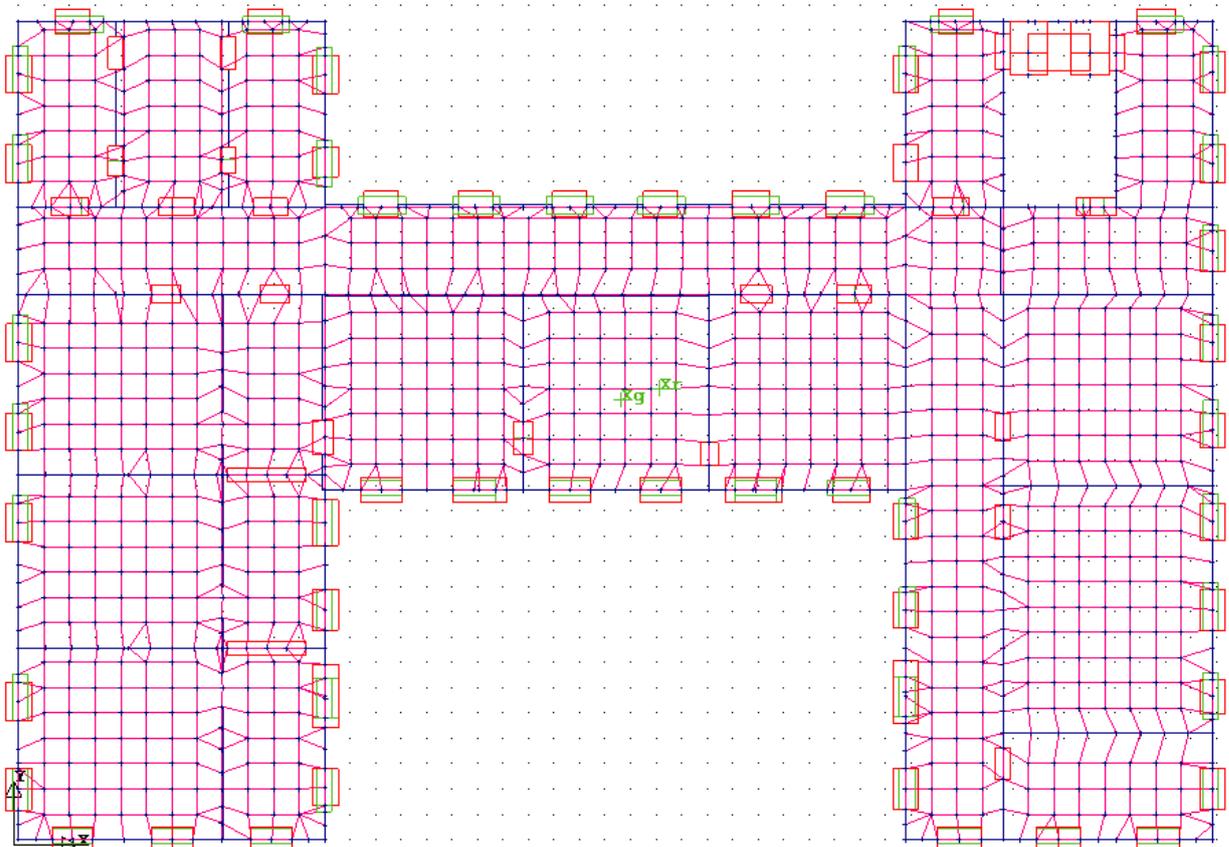
PIANTA DEL PIANO TERRA (IMPALCATO STRUTTURALE - STATO DI FATTO QUOTA 8,50 m.).



PIANTA DEL PIANO PRIMO (IMPALCATO STRUTTURALE - STATO DI FATTO QUOTA 12,75 m.).



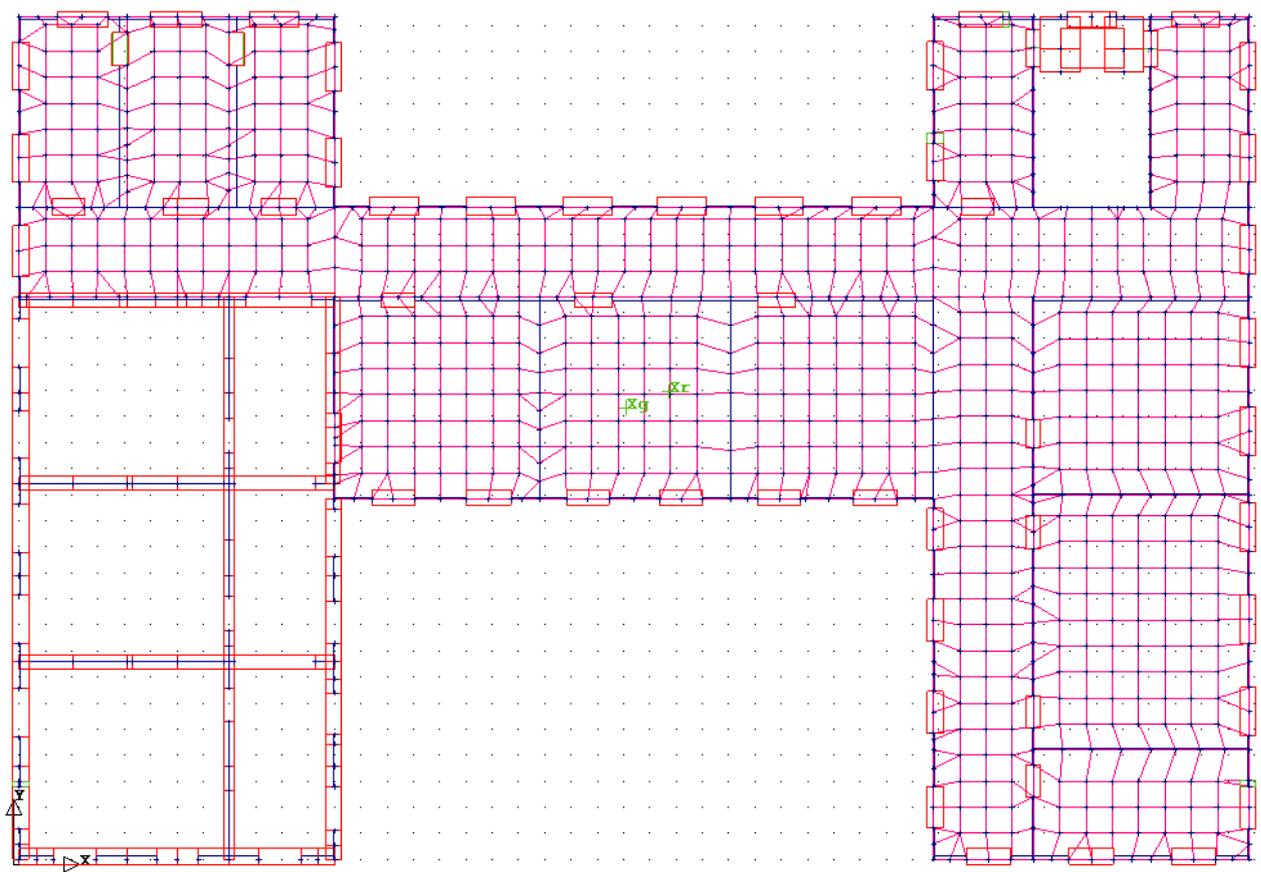
PIANTA DELLA COPERTURA (IMPALCATO STRUTTURALE - STATO DI FATTO QUOTA 17,05 m.).



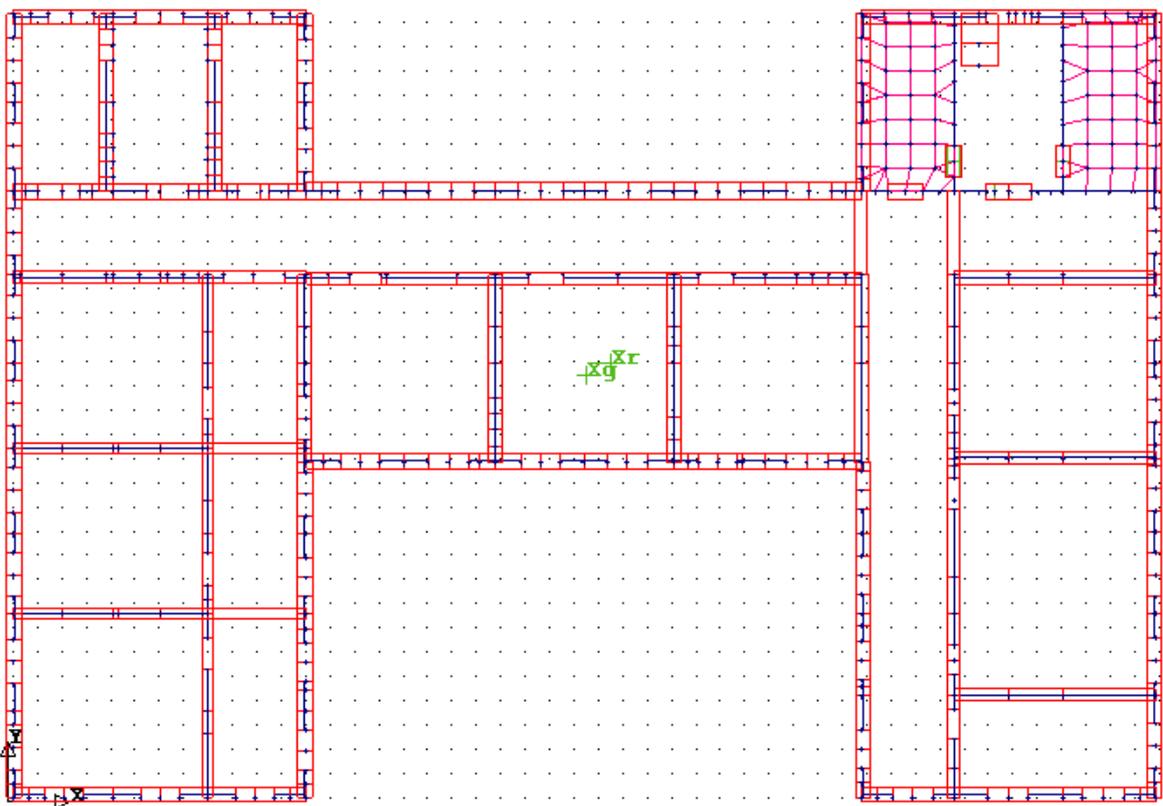
POSIZIONE DEI CENTRI DI MASSA E RIGIDEZZA DELL'IMPALCATO STRUTTURALE A QUOTA 3,00 m. (EDIFICIO STATO DI FATTO).

Dott. Ing. Carlo Cesaroni, Via San Giuseppe n. 5, 63066 Grottammare (AP)

Tel/Fax: 0735500557 – mobile: 3358121816 -e-mail: carlo_ cesaroni@libero.it –posta certificata: carlo.cesaroni2@ingpec.eu



POSIZIONE DEI CENTRI DI MASSA E RIGIDEZZA DELL'IMPALCATO STRUTTURALE A QUOTA 8,50 m. (EDIFICIO STATO DI FATTO).



POSIZIONE DEI CENTRI DI MASSA E DI RIGIDEZZA DELL'IMPALCATO STRUTTURALE A QUOTA 12,75 m. (EDIFICIO - STATO DI FATTO).

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Il presente progetto è inerente all'intervento di miglioramento sismico dell'edificio ospitante la scuola primaria "Giuseppe Speranza" sito in via Giuseppe Garibaldi n°39 nel comune di Grottammare (AP), che l'amministrazione comunale di Grottammare, della provincia di Ascoli Piceno, intende realizzare.

In relazione alle diverse tipologie di intervento da adottare sulle strutture, il Decreto Ministeriale emanato il 17 Gennaio 2018 al §8.4.1 distingue:

- Gli interventi di riparazione o locali: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- **Gli interventi di miglioramento**: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- Gli interventi di adeguamento: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3.

Il presente progetto si pone come obiettivo **il miglioramento sismico dell'edificio** in oggetto.

La necessità di incrementare la resistenza dell'edificio in oggetto nei confronti del sisma deriva principalmente dall'inadeguatezza della struttura nei confronti delle azioni sismiche.

Il principio fondamentale su cui si fonda l'ingegneria antisismica, ai sensi delle normative attualmente vigenti, consiste nella realizzazione di opere che, a seguito di un evento sismico di elevata intensità, garantiscano la salvaguardia delle vite umane, pur sacrificando l'indennità strutturale degli organismi edilizi.

La suddetta filosofia di progettazione accetta l'entrata in campo plastico della struttura legando l'entità delle azioni di natura sismica agenti su di essa alla propria capacità di deformarsi senza collassare, ossia alla sua duttilità.

L'opera di miglioramento sismico dell'edificio ospitante la scuola primaria "Giuseppe Speranza" sito in via Garibaldi n°39 nel comune di Grottammare (AP), condotta ai sensi del §8.4.2 del D.M. 17.01.2018 e del §C.8.4.2 della Circolare del 21.01.2019 n°7, è volta ad implementare il comportamento dinamico del fabbricato in muratura stesso in risposta alle accelerazioni sismiche e prevede l'esecuzione di una serie di interventi strutturali che vengono esplicitati nel seguito.

Allo stato attuale, non risultano soddisfatte le verifiche relative agli spostamenti sismici, le prime due forme modali risultano di tipo roto-traslatorio e le verifiche dei meccanismi locali degli elementi in muratura non risultano soddisfatte.

Gli interventi strutturali in progetto sono volti principalmente al miglioramento prestazionale degli elementi in muratura portante, in modo da poter conferire all'edificio un comportamento di tipo scatolare.

Una volta messi in opera gli interventi previsti in progetto, che verranno esplicitati nel seguito, le verifiche degli spostamenti allo stato limite di danno SLD risultano soddisfatte e le verifiche dei meccanismi di collasso locali degli elementi in muratura risultano soddisfatte.

INTERVENTO AI PIANI SEMINTERRATO, TERRA, PRIMO E SOTTOTETTO

Si prevedono i seguenti interventi strutturali:

1. Demolizione e ricostruzione del solaio di calpestio del piano terra al fine di renderlo rigido.

Allo stato attuale, il solaio di calpestio del piano terra consta di:

- Per l'ala ad ovest, una soletta piena in calcestruzzo armato di spessore pari a 15 cm;
- Per il corpo centrale, una soletta piena in calcestruzzo armato di spessore pari a 12 cm armata con un'unica rete in acciaio per c.a. che presenta lungo l'asse di mezzeria (in una sola direzione) una nervatura ricalata di sezione pari a 25x28 cm.;
- Per l'ala ad est, una soletta piena in calcestruzzo armato di spessore pari a 12 cm. armata con un'unica rete in acciaio per c.a. che presenta lungo l'asse di mezzeria (in una sola direzione) una nervatura ricalata di sezione pari a 25x28 cm.

Per incrementare le prestazioni dei solai sia in termini di resistenza che di rigidità, verrà eseguita la demolizione di una porzione del corpo centrale (prima campata ad est del corpo centrale) e dell'intera ala ad est del solaio di calpestio del piano terra e la successiva ricostruzione dello stesso con struttura mista acciaio – calcestruzzo alleggerito al fine di renderlo un piano rigido.

L'impalcato rigido a differenza di quello semirigido o deformabile costituisce un vincolo per i pannelli murari, riducendo di conseguenza enormemente le altezze di libera inflessione degli stessi: nel caso di impalcato semirigido o deformabile la lunghezza di libera inflessione del pannello murario coincide con l'intera altezza dello stesso, mentre nel caso di impalcato rigido la lunghezza di libera inflessione del pannello murario coincide con le altezze dei piani (la distanza verticale tra due piani rigidi successivi). Ne consegue che realizzare dei solai rigidi beneficia enormemente la stabilità dei muri.

Pertanto, oltre che comportare una migliore ripartizione delle azioni sismiche orizzontali ai sottostanti pannelli murari in modo proporzionale alla propria rigidità, l'intervento proposto conferisce una maggiore stabilità ai maschi murari, grazie ad una condizione di vincolo migliore della precedente.

Nello specifico, i nuovi solai del piano terra composti in acciaio-calcestruzzo saranno caratterizzati da:

- Doppia orditura di travi IPE 270 in acciaio S275 poste ad interasse di circa 1,00 m;
- Lamiera grecata di acciaio gravante sulle sottostanti travi in acciaio;
- Specifici connettori disposti con passo variabile;
- Rete metallica $\phi 6/10$ cm;
- Getto della soletta collaborante in calcestruzzo alleggerito Cls 1800 Kg/m³ (calcestruzzo strutturale di resistenza C28/35) dello spessore di 10 cm eseguito sulla sopracitata lamiera: la soletta sarà perfettamente connessa con il solaio in acciaio grazie all'impiego di specifici connettori disposti

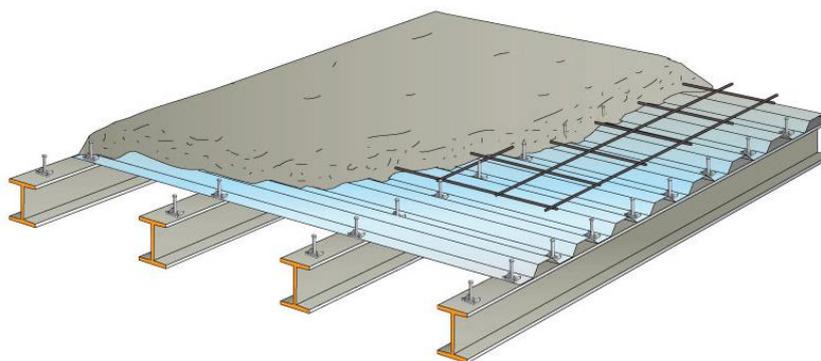
Dott. Ing. Carlo Cesaroni, Via San Giuseppe n. 5, 63066 Grottammare (AP)

Tel/Fax: 0735500557 – mobile: 3358121816 -e-mail: carlo_ cesaroni@libero.it –posta certificata: carlo.cesaroni2@ingpec.eu

con passo variabile, in tal modo la lamiera fungerà sia da cassero durante la costruzione che da armatura longitudinale in seguito all'indurimento del calcestruzzo.

La sezione mista, formata dalla doppia orditura di travi in acciaio e dalla soletta collaborante ad esse connessa tramite connettori, garantisce l'irrigidimento del solaio nel suo piano, consentendo il rinforzo strutturale (buona rigidezza flessionale del solaio in modo da resistere ai carichi verticali) e l'irrigidimento dell'elemento portante con significativi benefici statici e di corretta ripartizione delle azioni orizzontali sismiche sugli elementi murari che lo sostengono.

Poiché non è sufficiente la semplice adesione chimica fra la lamiera e il calcestruzzo, saranno previste opportune lavorazioni superficiali o particolari sagome della lamiera per garantire l'aderenza fra acciaio e calcestruzzo.



La realizzazione dei nuovi solai garantirà:

- leggerezza e riduzione degli ingombri;
- velocità di realizzazione;
- facilità di taglio e scarsa suscettibilità a problemi di tolleranze;
- facilità nella realizzazione di aperture per il passaggio degli impianti.

Le travi del solaio verranno inserite nella muratura per almeno i due terzi dello spessore di queste ultime: una volta eseguito il vano per alloggiare le travi mediante carotatrice rotativa ad acqua (la demolizione con martelli pneumatici potrebbe avere vibrazioni tali da causare sicuramente la scomposizione delle porzioni di muro), le suddette verranno inghisate con colatura di calcestruzzi ad alta resistenza e elevata fluidità a ritiro controllato, in modo da inficiare il meno possibile sulla struttura della muratura portante esistente.

Le porzioni di solaio non oggetto di intervento, furono oggetto di intervento negli anni precedenti: al piano terra vennero demoliti i solai esistenti e ricostruiti con solette piene in c.a. di spessore idoneo e tali da essere assimilabili, anche oggi, a dei piani indeformabili ossia 'piani rigidi'.

Dunque l'intervento come filosofia progettuale va nella sostanza a completare un percorso già avviato in precedenza.

2. Demolizione e ricostruzione del solaio di calpestio del piano primo al fine di renderlo rigido.

Allo stato attuale, il solaio di calpestio del piano primo consta di:

- Per l'ala ad ovest, un solaio monodirezionale in latero-cemento armato con travetti tipo Bausta a cui sono interposti elementi di alleggerimento in laterizio con soletta piena in c.a. di spessore pari a 4-5 cm.;
- Per il corpo centrale, una soletta piena in calcestruzzo armato di spessore pari a 12 cm armata con un'unica rete in acciaio per c.a. che presenta lungo l'asse di mezzeria (in una sola direzione) una nervatura ricalata di sezione pari a 25x28 cm.;
- Per l'ala ad est, una soletta piena in calcestruzzo armato di spessore pari a 12 cm. armata con un'unica rete in acciaio per c.a. che presenta lungo l'asse di mezzeria (in una sola direzione) una nervatura ricalata di sezione pari a 25x28 cm.

Per incrementare le prestazioni dei solai sia in termini di resistenza che di rigidità, verrà eseguita la demolizione dell'intero corpo centrale e dell'intera ala ad est del solaio di calpestio del piano terra e la successiva ricostruzione dello stesso con struttura mista acciaio – calcestruzzo al fine di renderlo un piano rigido.

L'impalcato rigido a differenza di quello semirigido o deformabile costituisce un vincolo per i pannelli murari, riducendo di conseguenza enormemente le altezze di libera inflessione degli stessi: nel caso di impalcato semirigido o deformabile la lunghezza di libera inflessione del pannello murario coincide con l'intera altezza dello stesso, mentre nel caso di impalcato rigido la lunghezza di libera inflessione del pannello murario coincide con le altezze dei piani (la distanza verticale tra due piani rigidi successivi). Ne consegue che realizzare dei solai rigidi beneficia enormemente la stabilità dei muri.

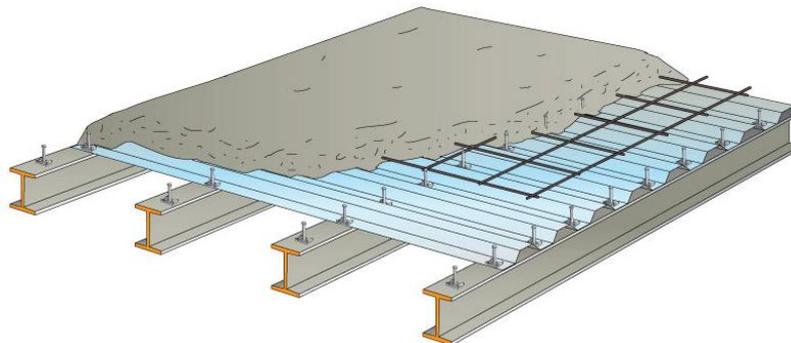
Pertanto, oltre che comportare una migliore ripartizione delle azioni sismiche orizzontali ai sottostanti pannelli murari in modo proporzionale alla propria rigidità, l'intervento proposto conferisce una maggiore stabilità ai maschi murari, grazie ad una condizione di vincolo migliore della precedente.

Nello specifico, i nuovi solai del piano terra composti in acciaio-calcestruzzo saranno caratterizzati da:

- Doppia orditura di travi IPE 270 in acciaio S275 poste ad interasse di circa 1,00 m;
- Lamiera grecata di acciaio gravante sulle sottostanti travi in acciaio;
- Specifici connettori disposti con passo variabile;
- Rete metallica $\phi 6/10$ cm;
- Getto della soletta collaborante in calcestruzzo strutturale alleggerito con argilla espansa Cls 1800 Kg/m³ (calcestruzzo strutturale di resistenza C28/35) dello spessore di 10 cm eseguito sulla sopracitata lamiera: la soletta sarà perfettamente connessa con il solaio in acciaio grazie all'impiego di specifici connettori disposti con passo variabile, in tal modo la lamiera fungerà sia da cassero durante la costruzione che da armatura longitudinale in seguito all'indurimento del calcestruzzo.

La sezione mista, formata dalla doppia orditura di travi in acciaio e dalla soletta collaborante ad esse connessa tramite connettori, garantisce l'irrigidimento del solaio nel suo piano, consentendo il rinforzo strutturale (buona rigidità flessionale del solaio in modo da resistere ai carichi verticali) e l'irrigidimento dell'elemento portante con significativi benefici statici e di corretta ripartizione delle azioni orizzontali sismiche sugli elementi murari che lo sostengono.

Poiché non è sufficiente la semplice adesione chimica fra la lamiera e il calcestruzzo, saranno previste opportune lavorazioni superficiali o particolari sagome della lamiera per garantire l'aderenza fra acciaio e calcestruzzo.



La realizzazione dei nuovi solai garantirà:

- leggerezza e riduzione degli ingombri;
- velocità di realizzazione;
- facilità di taglio e scarsa suscettibilità a problemi di tolleranze;
- facilità nella realizzazione di aperture per il passaggio degli impianti.

Le travi del solaio verranno inserite nella muratura per almeno i due terzi dello spessore di queste ultime: una volta eseguito il vano per alloggiare le travi mediante carotatrice rotativa ad acqua (la demolizione con martelli pneumatici potrebbe avere vibrazioni tali da causare sicuramente la scomposizione delle porzioni di muro), le suddette verranno inghisate con colatura di calcestruzzi ad alta resistenza e elevata fluidità a ritiro controllato, in modo da inficiare il meno possibile sulla struttura della muratura portante esistente.

Le porzioni di solaio non oggetto di intervento, furono oggetto di intervento negli anni precedenti: al piano primo, fu ricostruito un solaio monodirezionale tipo "Bausta" con soletta piena in c.a. di 4-5 cm. in modo da assimilarli a piani rigidi.

Dunque l'intervento come filosofia progettuale va nella sostanza a completare un percorso già avviato in precedenza.

3. Realizzazione di una cerchiatura perimetrale ai piani terra e primo.

Per sopperire all'assenza dei cordoli in c.a. di perimetrazione e ripristinare la connessione tra i muri portanti e gli orizzontamenti, in modo da poter conferire all'edificio un comportamento di tipo scatolare, si è ritenuto opportuno prevedere la realizzazione di una cerchiatura perimetrale in corrispondenza di ogni orizzontamento (solaio di calpestio del piano terra e del piano primo).

In tal modo, vengono ridistribuite le azioni sismiche dal solaio alle pareti, inibendo l'innescò di meccanismi di collasso locale dovuti dallo sfilamento dei solai e dal ribaltamento delle pareti murarie fuori dal loro piano.

I nuovi solai verranno connessi alle murature esistenti attraverso un sistema di doppio piatto in acciaio:

- il primo posto sul filo del paramento interno è reso solidale alle travi e alla soletta attraverso bullonatura;
- Il secondo posto in posizione verticale, corre orizzontalmente sul filo del paramento murario esterno;

I suddetti saranno accoppiati mediante barre filettate in acciaio ad alta resistenza imbullonate in ambe due i lati in maniera tale da creare un effetto di lieve compressione alla muratura in corrispondenza della quota del solaio.

Tale sistema è stato ideato per evitare la realizzazione di cordoli in c.a. in breccia alle murature.

L'inserimento in facciata delle piastre in acciaio è stato ideato in modo che sia il meno invasivo possibile, nel rispetto della facciata originaria.

Per il solaio di calpestio del piano terra, le piastre si inseriranno nella parte alta del basamento che gira intorno all'edificio; per il solaio di calpestio del piano primo, nella parte alta e bassa del marcapiano esistente.

Le piastre avranno uno spessore minimo di 20 mm circa ed un'altezza di 12 cm circa e verranno trattate con vernici tali da renderle dello stesso colore del basamento e del marcapiano, ciò per mitigare la loro presenza e renderle poco visibili in modo da percepirle il meno possibile sulle facciate esterne.

I bulloni saranno mascherati con copri bulloni a semisfera anch'essi verniciati dello stesso colore del bugnato e del marcapiano, tonalità del grigio, tali da renderli il meno possibile visibili.

4. Realizzazione del perimetro forte al piano sottotetto.

Per migliorare la connessione tra i muri portanti del piano primo e gli orizzontamenti in latero-cemento del sottotetto, in modo da poter conferire all'edificio un comportamento scatolare, si è ritenuto opportuno realizzare in corrispondenza del solaio di calpestio del sottotetto la cerchiatura perimetrale "perimetro forte".

La suddetta verrà messa in opera impiegando un profilo angolare in acciaio S275 di dimensioni 80 mm. x 80 mm. x 8 mm. disposto in corrispondenza della quota di estradosso dei solai di calpestio del sottotetto sul filo del paramento interno dei muri.

L'angolare sarà reso solidale al solaio esistente e alle murature sottostanti del piano primo attraverso barre di armatura B450C di diametro $\varnothing 12$ disposte con passo costante di 50 cm., che verranno saldate al suddetto angolare, necessarie per il successivo getto del massetto alleggerito per la posa del pavimento.

Le barre di acciaio verranno inghisate alle sottostanti murature perimetrali e di controvento del piano primo mediante la resina chimica **Hilti HIT-HY 70**.

Successivamente verrà gettato il nuovo massetto alleggerito, che risulterà collegato al solaio di calpestio in latero-cemento esistente e alle murature del piano primo grazie al sopraccitato perimetro forte, incrementando così la sicurezza antisismica dell'edificio.

5. Realizzazione di cerchiature in acciaio ai piani seminterrato, terra, primo e sottotetto.

Allo stato attuale, la maggior parte dei maschi murari che delimitano le aule sia al piano terra che al primo risulta vincolata ai soli muri di bordo e di spina ad essi perpendicolari, mentre non vi è connessione alcuna con i muri che delimitano il corridoio. Ne risulta che sono presenti maschi murari che sono completamente sprovvisti di vincoli, dunque fortemente vulnerabili in caso di azioni sismiche.

Per garantire la funzionalità delle zone dove si rende assolutamente necessario ricostruire i suddetti incroci e nel contempo creare delle corrette connessioni, ridando continuità ai maschi murari, si è scelto di inserire delle cerchiature in acciaio, correttamente collegate lungo il loro perimetro alle strutture perimetrali, dimensionate in modo tale da ripristinare completamente la rigidità della muratura non presente.

Nello specifico, si prevede la realizzazione di:

- Undici cerchiature al piano seminterrato, impiegando travi e pilastri con doppio profilo **2*HEB 220** in acciaio **S275**;
- Due cerchiature al piano seminterrato, impiegando travi e pilastri con profilo **HEB 220** in acciaio **S275**;
- Sei cerchiature al piano seminterrato, impiegando travi e pilastri con profilo **HEM 260** in acciaio **S275**;
- Nove cerchiature al piano rialzato (terra), impiegando travi e pilastri con doppio profilo **2*HEB 220** in acciaio **S275**;
- Due cerchiature al piano rialzato (terra), impiegando travi e pilastri con profilo **HEB 220** in acciaio **S275**;
- Nove cerchiature al piano primo, impiegando travi e pilastri con doppio profilo **2*HEB 220** in acciaio **S275**;
- Due cerchiature al piano primo, impiegando travi e pilastri con profilo **HEB 220** in acciaio **S275**;
- Dieci cerchiature al piano sottotetto, impiegando travi e pilastri con doppio profilo **2*HEB 220** in acciaio **S275**;
- Tre cerchiature al piano sottotetto, impiegando travi e pilastri con profilo singolo **HEB 220** in acciaio **S275**;

Il calcolo delle cerchiature in acciaio si articola, dunque, in due fasi:

- Dapprima vengono dimensionati e verificati gli elementi strutturali in acciaio, costituenti ciascun telaio.
- Successivamente viene eseguita l'analisi statica non lineare o analisi pushover sul modello globale dell'edificio inserendo le cerchiature in acciaio ove si reputa necessario. Dalla suddetta analisi vengono sia dedotte le sollecitazioni corrispondenti alle varie combinazioni di calcolo che verificate le sezioni stesse.

Le colonne costituenti ogni cerchiatura verranno saldate alla base ad una piastra di collegamento in acciaio **S275** collocata a 10,0 cm al di sopra della quota di estradosso del solaio di calpestio (classe di esecuzione della saldatura EXC3) ed inghisate alla stessa mediante malta strutturale fluida antiritiro.

La classe di esecuzione delle strutture in acciaio viene valutata combinando tra loro i parametri essenziali divisi per la classe di **AFFIDABILITÀ** (*CC o Consequence Class*) e per i **RISCHI POTENZIALI** (*SC o Service Categories e PC o Production Categories*), come prescritto dalla norma UNI 1090-2:

- Classe di conseguenza: **CC2**;
- Classe di servizio: **SC2**;
- Classe di esecuzione derivante dalla classe di conseguenza e della classe di servizio sopracitate: **EXC3**.

PC: rischi connessi con l'esecuzione della struttura
En 1090-2 – Tab. B.2

CATEGORIE	CRITERI
PC1	Componenti non saldati, prodotti con acciaio di qualsiasi resistenza
	Componenti non saldati, prodotti con acciaio di resistenza inferiore a S355
PC2	Componenti saldati, prodotti con acciaio di resistenza uguale o superiore a S355
	Componenti essenziali per l'integrità strutturale che sono assemblati tramite saldatura in cantiere
	Componenti prodotti tramite formatura a caldo o che ricevono trattamenti termici durante la fabbricazione
	Strutture e componenti con i loro sistemi di connessione progettati per azioni sismiche in regioni con attività sismica media o alta e in DCM* e DCH*
* DCL, DCM, DCH: classi di duttilità (rispettivamente bassa, media, alta) in accordo alla norma En 1998-1	
** Per la classificazione delle sollecitazioni a fatica per le gru vedere En 1991-3 e En 13001-1	

CC: classi di conseguenza
En 1990 – Tab. B.1

CLASSI DI CONSEGUENZA	DESCRIZIONE	ESEMPI DI EDIFICI E OPERE DI INGEGNERIA CIVILE
CC3	Elevate conseguenze come perdita di vite umane o conseguenze economiche, sociali o ambientali molto grandi	Tribune, edifici pubblici dove le conseguenze di un crollo sono elevate (come una sala da concerto)
CC2	Medie conseguenze come perdita di vite umane o conseguenze economiche, sociali o ambientali considerevoli	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici dove le conseguenze di un crollo sono medie (come un edificio per uffici)
CC1	Basse conseguenze come perdita di vite umane e conseguenze economiche, sociali o ambientali piccole o trascurabili	Edifici agricoli dove la gente normalmente non entra (come edifici per deposito)

SC: categorie di servizio
En 1990 – Tab. B.1

CATEGORIE	CRITERI
SC1	Strutture e componenti progettati solo per azioni quasi-statiche (ad esempio edifici)
	Strutture e componenti con i loro sistemi di connessione progettati per azioni sismiche in regioni con attività sismica bassa e in DCL*
	Strutture e componenti progettati per sollecitazioni a fatica derivanti da gru (classe S0)**
SC2	Strutture e componenti progettati per azioni a fatica in accordo alla norma En 1993 (ad esempio ponti stradali e ferroviari, gru di classe da S1 a S9**, strutture soggette a vibrazioni indotte dal vento, da presenza di folla, da presenza di macchinari rotanti)
	Strutture e componenti con i loro sistemi di connessione progettati per azioni sismiche in regioni con attività sismica media o alta e in DCM* e DCH*
* DCL, DCM, DCH: classi di duttilità (rispettivamente bassa, media, alta) in accordo alla norma En 1998-1	
** Per la classificazione delle sollecitazioni a fatica per le gru vedere En 1991-3 e En 13001-1	

EXC: classi di esecuzione delle strutture
En 1090-2 – Tab. B.3

CLASSI DI CONSEGUENZA		CC1		CC2		CC3	
CATEGORIE DI SERVIZIO		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
CATEGORIE DI PRODUZIONE	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Vista l'impossibilità di disporre in corrispondenza delle volte in muratura della mensa al seminterrato i profili in acciaio S275 2*HEB220 e HEM260, in quanto si abbasserebbe troppo l'altezza utile delle volte stesse, si prevede di eseguire il:

- Placcaggio inferiore delle volte murarie mediante un profilo di acciaio con sezione ad Ω equivalente al profilo impiegato per i traversi delle cerchiature nell'esecuzione della modellazione strutturale.
- Placcaggio continuo delle colonne murarie mediante un profilo di acciaio con sezione rettangolare cava equivalente al profilo impiegato per i pilastri delle cerchiature nell'esecuzione della modellazione strutturale.

L'equivalenza è stata desunta sulla base dell'inerzia del nuovo profilo lungo l'asse x (asse forte).

Il profilo in acciaio S275 equivalente al profilo in acciaio S275, impiegato per i traversi delle cerchiature nella modellazione strutturale, presenterà una **sezione ad Ω** con spessore delle ali e dell'anima pari a 8 mm, il cui momento di inerzia lungo l'asse forte (asse x) risulta maggiore del momento di inerzia lungo lo stesso asse dei profili impiegati nei calcoli.

Allo stesso modo, Il profilo in acciaio S275 equivalente al profilo in acciaio S275, impiegato nella modellazione strutturale per i pilastri delle cerchiature, presenterà una sezione **rettangolare cava** con spessore costante pari a 8 mm, in modo da poter realizzare il placcaggio continuo delle colonne murarie, il cui momento di inerzia lungo l'asse forte (asse x) risulta maggiore del momento di inerzia lungo lo stesso asse dei profili impiegati nei calcoli.

Le lamiere di spessore pari a 8 mm. con cui verranno rinforzate le volte in muratura (sezione rettangolare cava di spessore pari a 8 mm tramite cui verrà realizzato il placcaggio continuo delle colonne murarie e sezione ad Ω tramite cui verrà eseguito il rinforzo delle volte murarie) verranno fissate al muro impiegando tasselli chimici con testa a scomparsa $\varnothing 10$ ogni 50 cm. con fori di profondità minima di 20 cm.

ANALISI PUSHOVER DELLO STATO MODIFICATO

È stata condotta l'Analisi Pushover o Analisi sismica statica non lineare sul modello agli elementi finiti rispettivamente dell'edificio rappresentato nella sua completezza (geometrica e meccanica).

Sono stati impiegati sia elementi di tipo 'frame' necessari per la modellazione di travi e cordoli, sia elementi di tipo 'shell' per la modellazione dei setti in muratura.

È stata inserita la stratigrafia del terreno di fondazione, impiegando le caratteristiche geologiche di ciascuno strato ai fini di una corretta discretizzazione meccanica del sito su cui insiste l'edificio oggetto di studio.

Lo studio geologico e geofisico è stato condotto dal Geologo Dott. Giuseppe Capponi iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Marche Geologo Specialista al n° 373.

Nello svolgimento dell'analisi, è stato considerato esclusivamente il contributo delle due componenti orizzontali dell'azione sismica tralasciando quello della componente verticale, ai sensi dei punti §3.2.3.1, § 7.3.5 e §7.2.2 del D.M.17.01.2018.

Difatti, nel §3.2.3.1 si specifica che la componente verticale deve essere considerata *ove espressamente specificato (Capitolo 7) e purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo pari ad $a_g \geq 0,15 g$.*

Successivamente al §7.3.5 si specifica che, la risposta alle diverse componenti dell'azione sismica viene calcolata *unitariamente per le tre componenti, applicando l'espressione $1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z$ in ogni caso la componente verticale deve essere tenuta in conto unicamente nei casi previsti al §7.2.2.*

Infine, al §7.2.2 si precisa che la suddetta componente verticale dell'azione sismica deve essere considerata, **in aggiunta** a quanto indicato al §3.2.3.1, *anche in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastro in falso, edifici con piani sospesi, ponti e costruzioni con isolamento.*

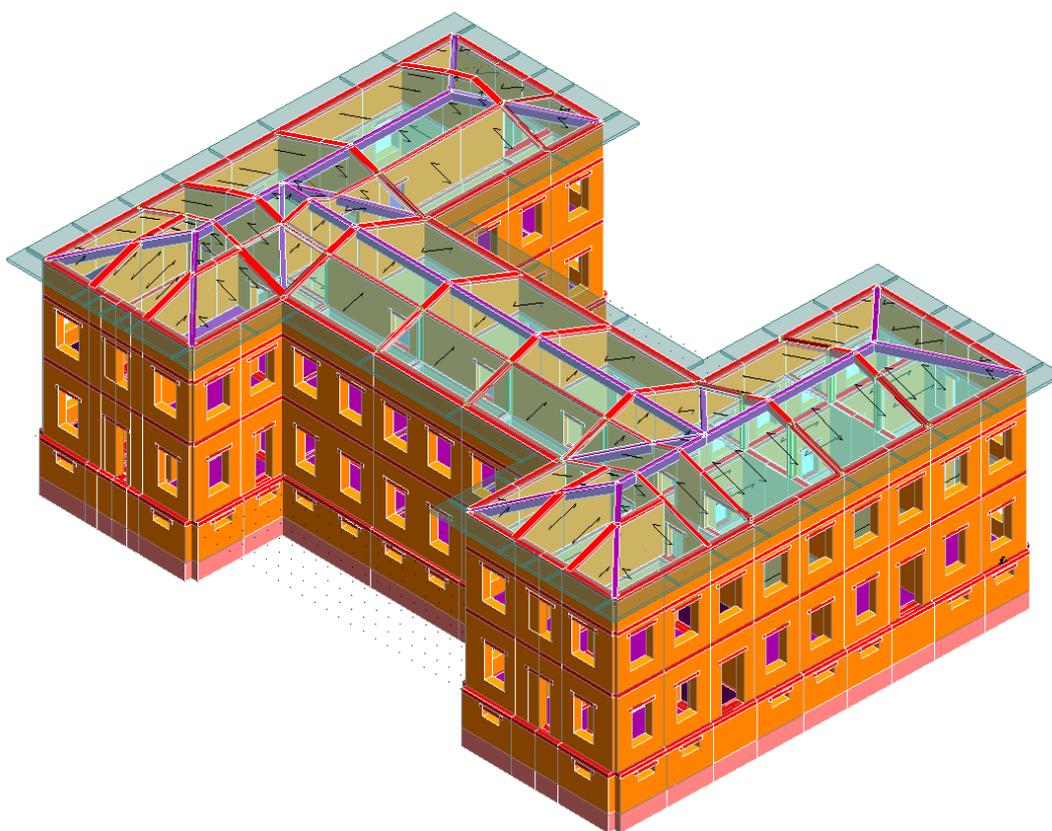
Ne consegue che, sebbene il sito su cui sorge la costruzione in esame sia caratterizzato da un valore di a_g allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) pari a 0,272 g e quindi superiore a 0,15 g (§3.2.3.1), la tipologia di struttura oggetto del presente progetto di miglioramento sismico non rientra tra le quelle menzionate al punto §7.2.2., motivo per cui non è stato considerato il contributo della componente verticale del sisma.

Nel caso in esame, per tenere conto del comportamento non lineare della struttura, il quale incide profondamente sulla sua capacità di resistere all'azione sismica, è stata condotta l'analisi pushover o analisi sismica statica non lineare sul modello globale agli elementi finiti dell'edificio allo stato modificato rappresentato nella sua completezza (geometria e caratteristiche meccaniche).

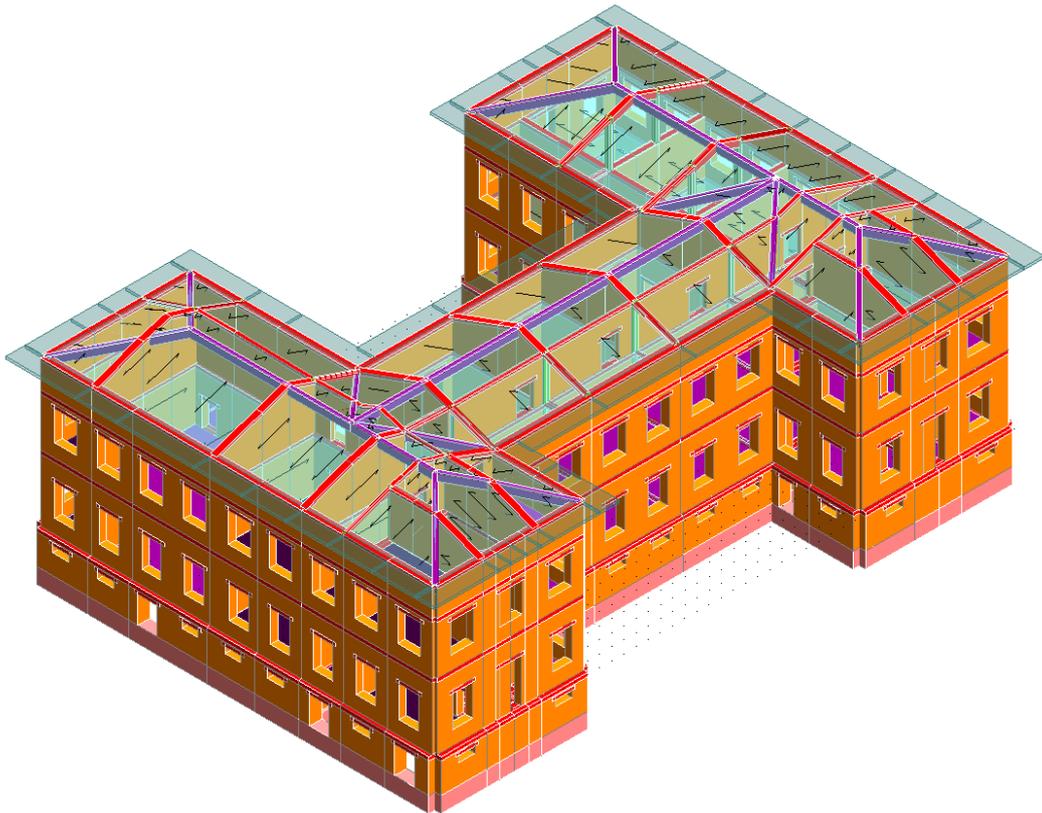
L'analisi Pushover è stata eseguita considerando un livello di conoscenza **LC3** (conoscenza esaustiva), a cui corrisponde un fattore di confidenza pari a **1,00**, con cui sono stati ridotti i valori medi delle resistenze dei materiali che compongono gli elementi strutturali.

I diagrammi spettro ADSR relativi alle 32 combinazioni tipiche del metodo adottato sono allegati ai tabulati di calcolo rispettivamente dello stato di fatto e dello stato modificato, che riportano la completa trattazione numerica.

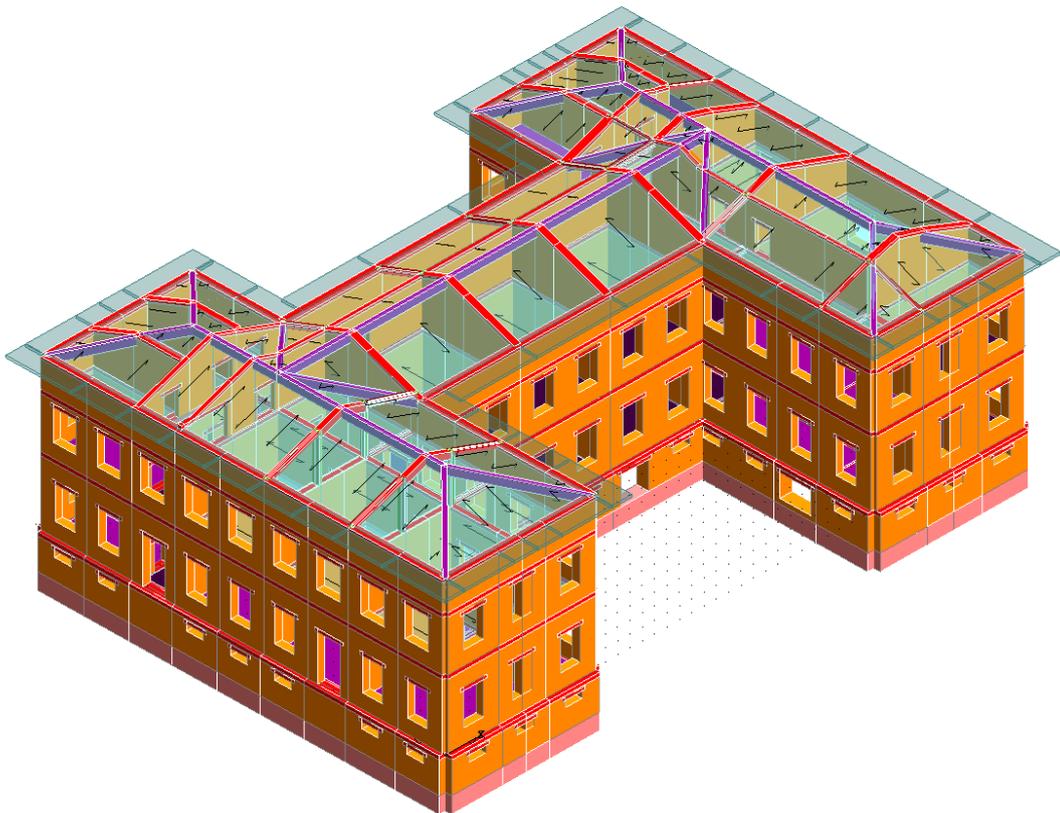
Di seguito si riportano le viste tridimensionali delle modellazioni strutturali agli elementi finiti della scuola statale "Giuseppe Speranza" allo stato modificato (stato post-intervento o post-operam), nonché le viste in pianta e le posizioni dei centri di massa (X_G , Y_G) e rigidezza (X_R , Y_R) di ogni impalcato strutturale.



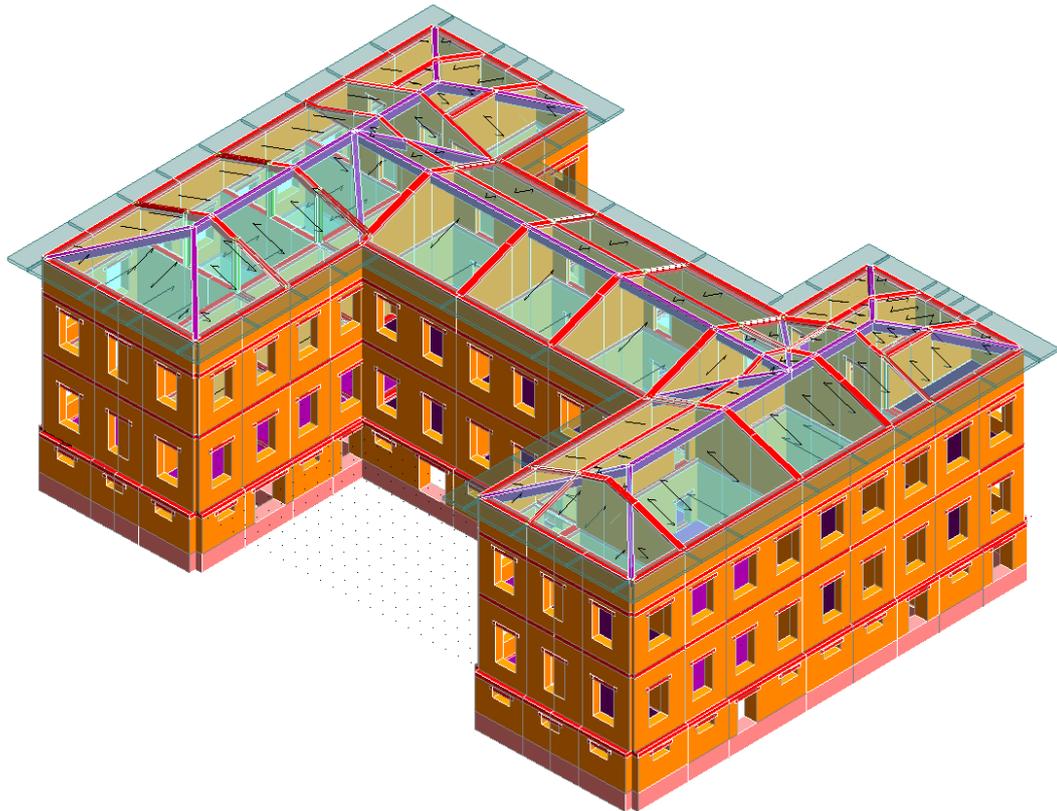
VISTA 3D N°1 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO MODIFICATO.



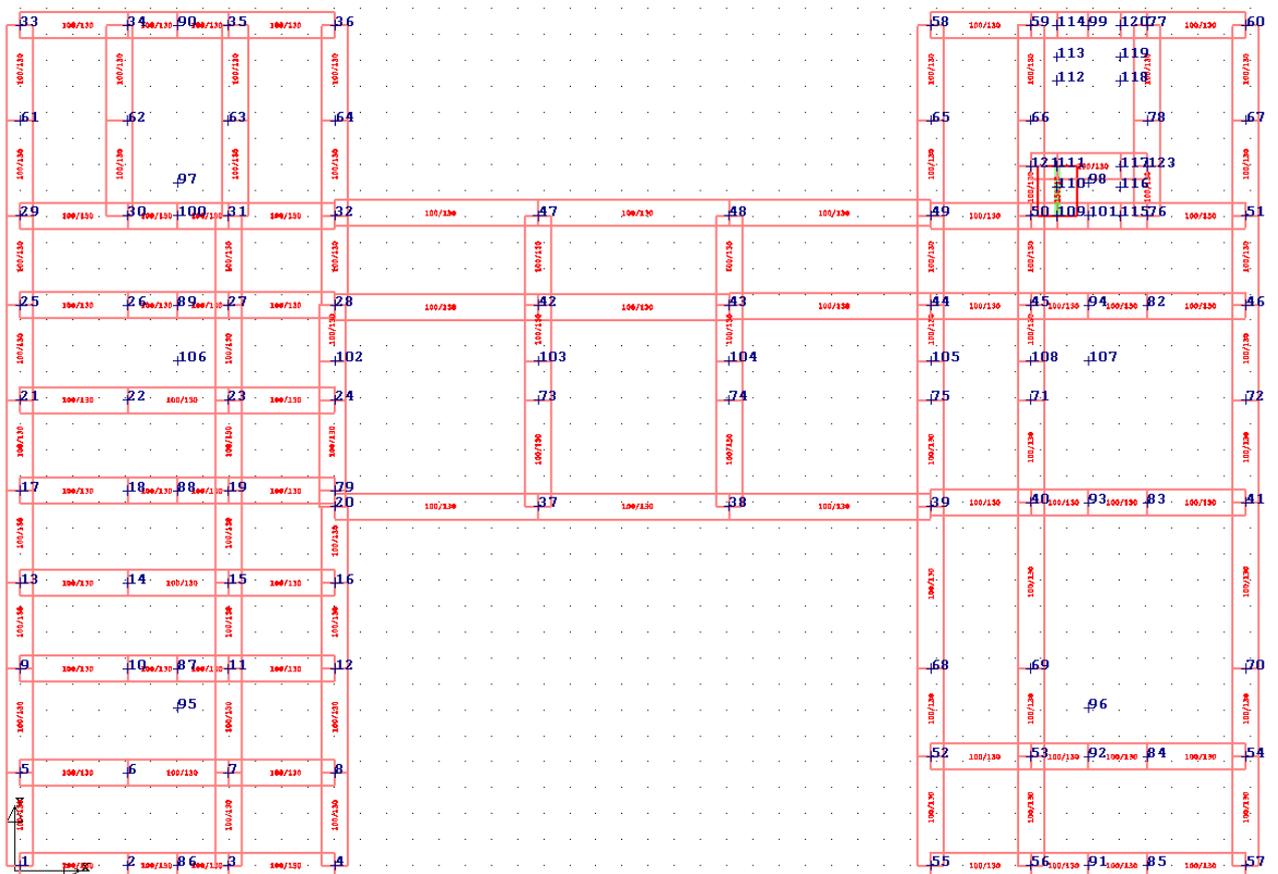
VISTA 3D N°2 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO MODIFICATO.



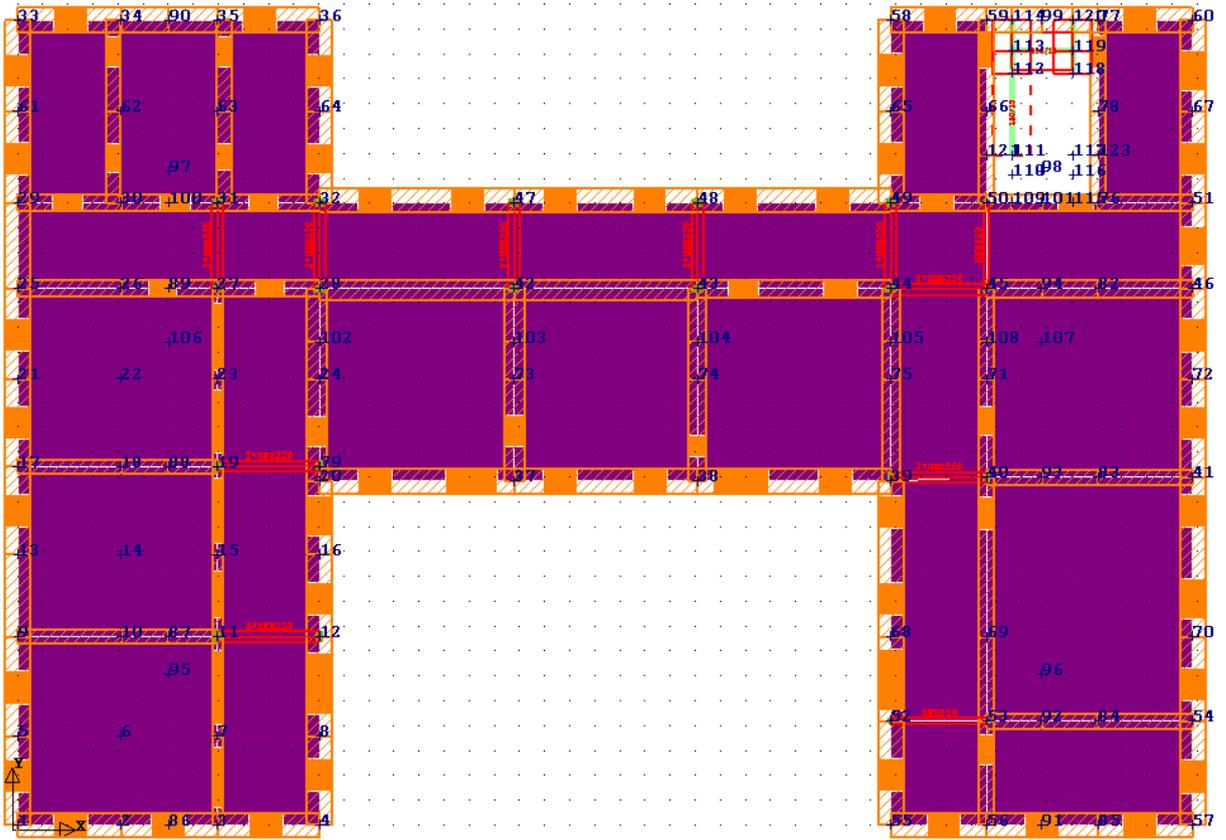
VISTA 3D N°3 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO MODIFICATO.



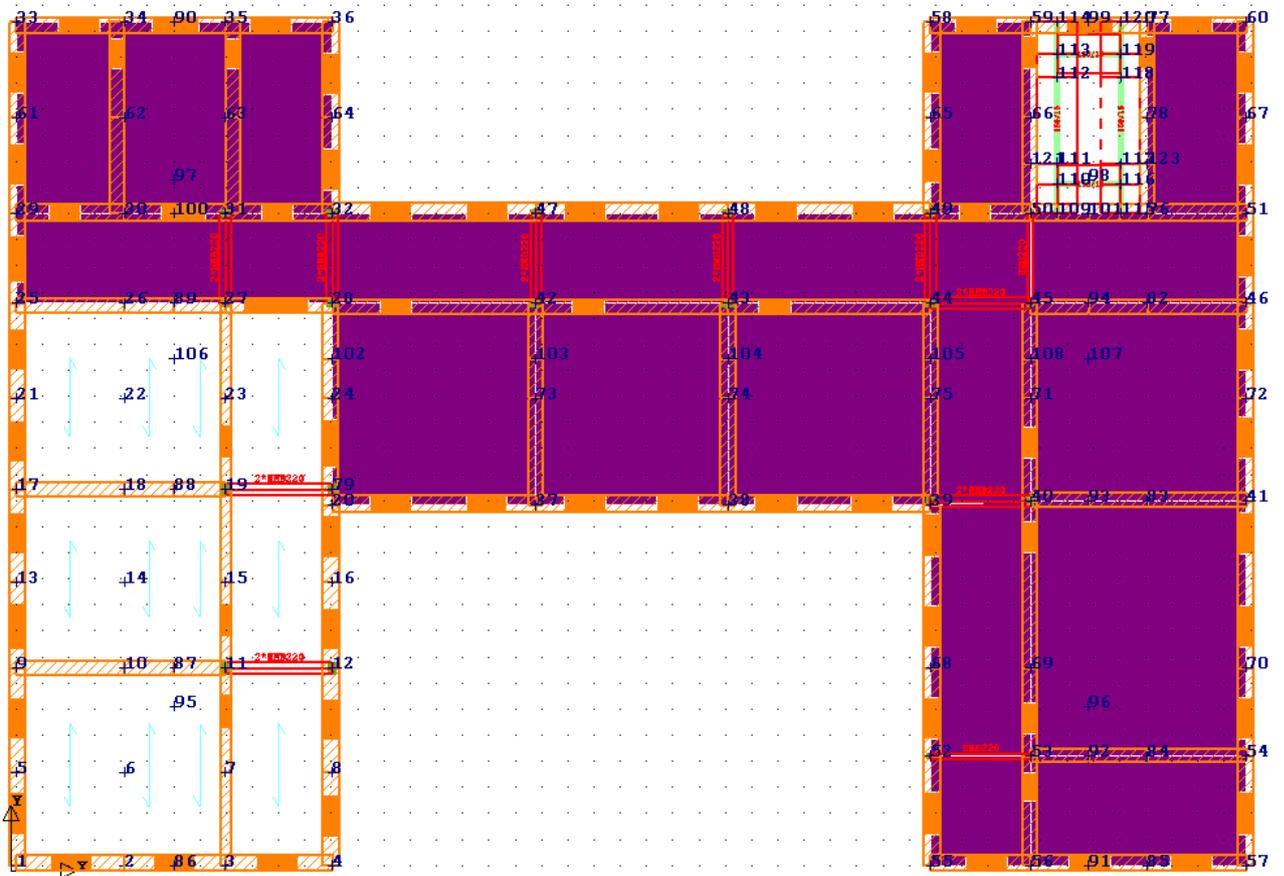
VISTA 3D N°4 DELLA MODELLAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO ALLO STATO MODIFICATO.



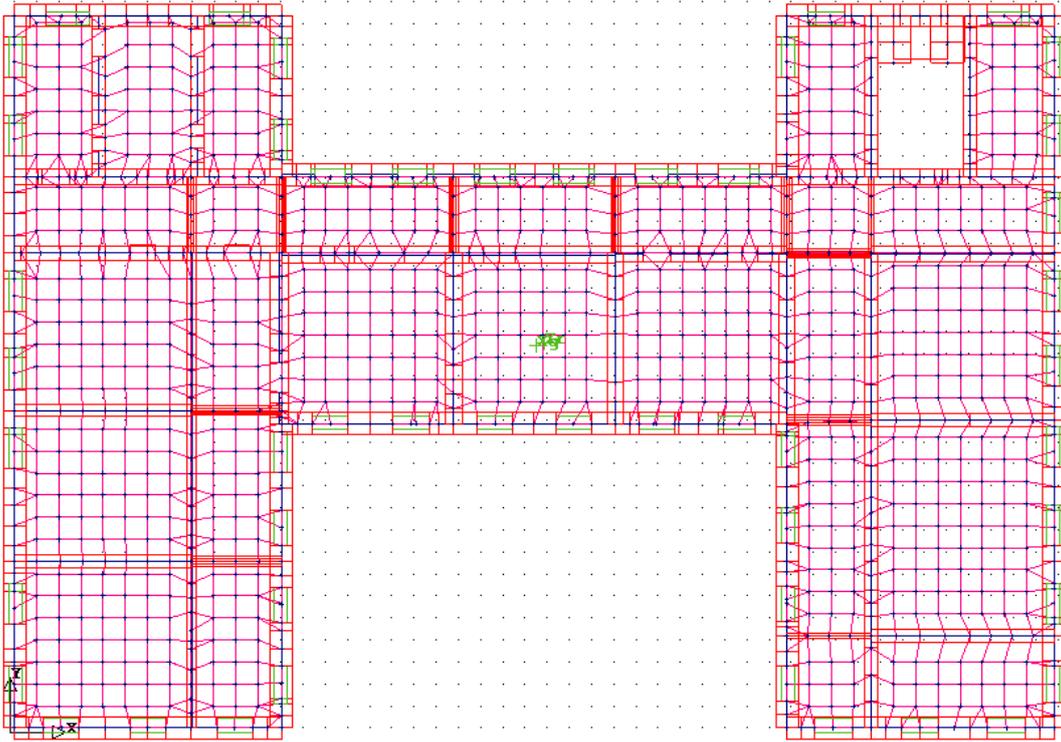
PIANTA DELLE FONDAZIONI ALLO STATO MODIFICATO (IMPALCATO STRUTTURALE QUOTA 0,00 m.).



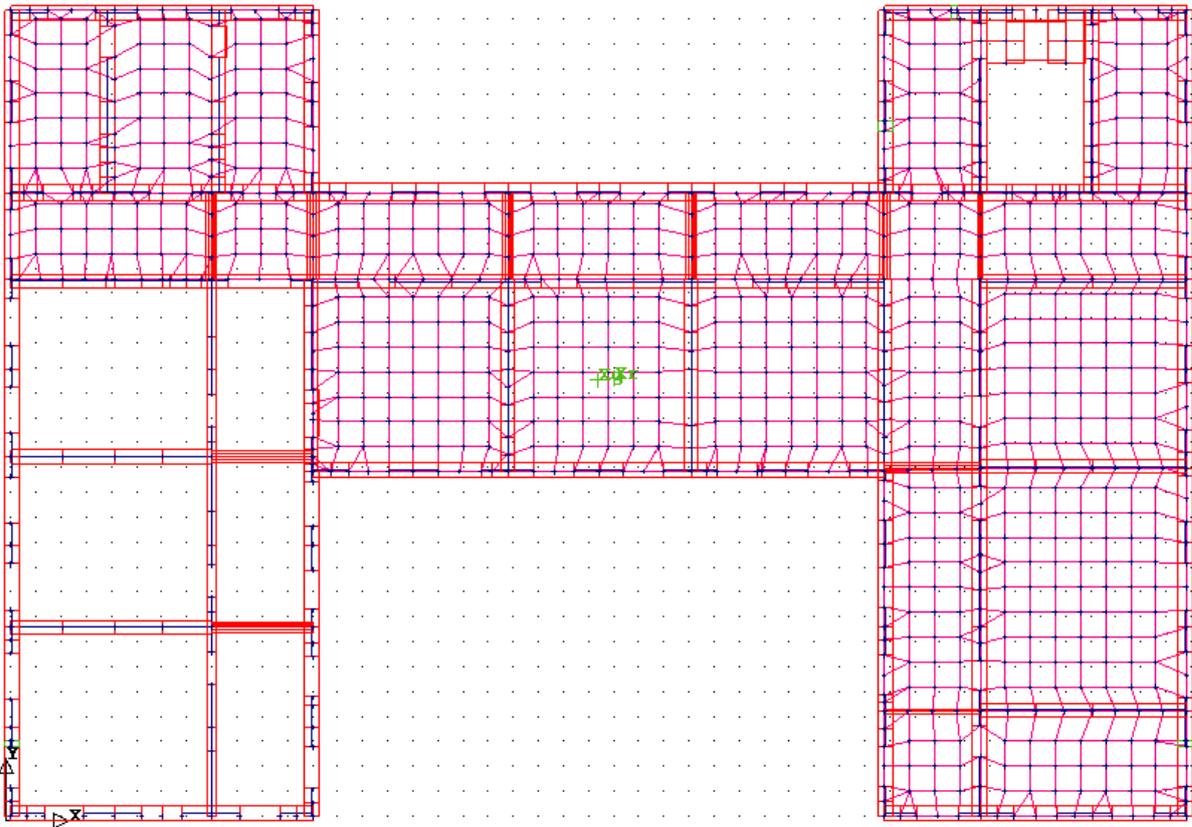
PIANTA DELL'EDIFICIO ALLO STATO MODIFICATO (IMPALCATO STRUTTURALE QUOTA 2,80 m.).



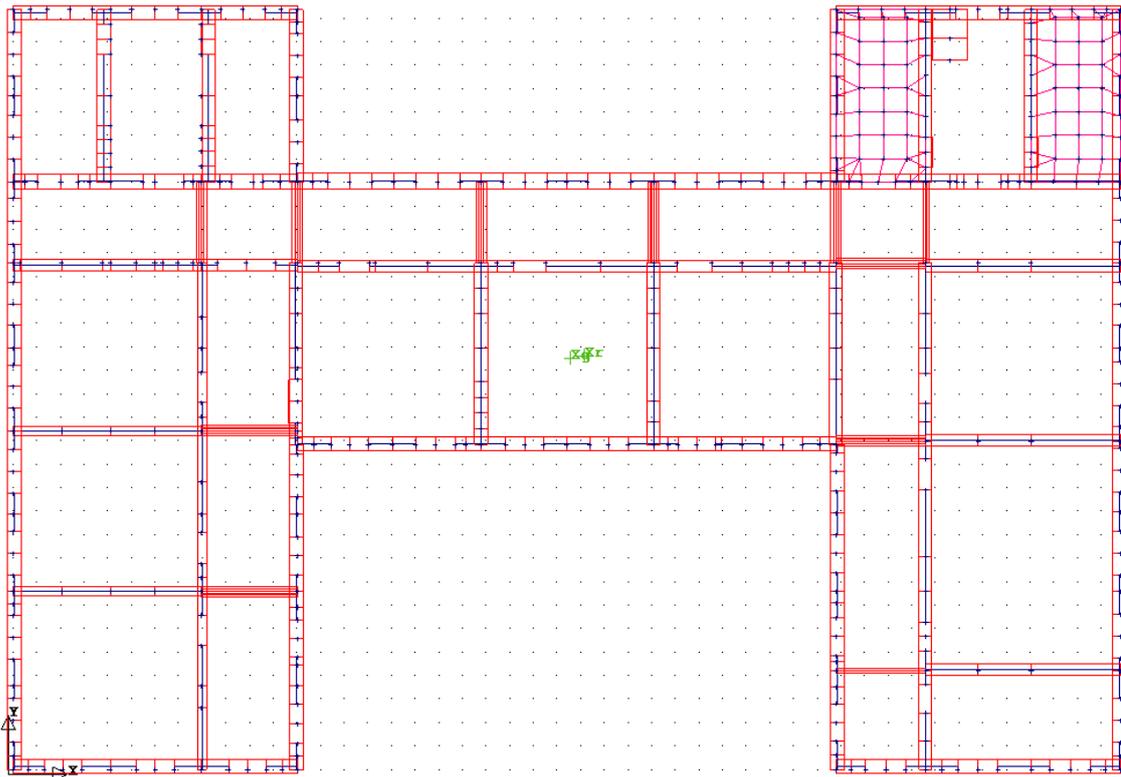
PIANTA DELL'EDIFICIO ALLO STATO MODIFICATO (IMPALCATO STRUTTURALE QUOTA 8,30 m.).



POSIZIONE DEI CENTRI DI MASSA E RIGIDEZZA DELL'IMPALCATO STRUTTURALE A QUOTA 2,80 m (EDIFICIO – STATO MODIFICATO).



POSIZIONE DEI CENTRI DI MASSA E RIGIDEZZA DELL'IMPALCATO STRUTTURALE A QUOTA 8,30 m (EDIFICIO – STATO MODIFICATO).



POSIZIONE DEI CENTRI DI MASSA E RIGIDEZZA DELL'IMPALCATO STRUTTURALE A QUOTA 12,65 m (EDIFICIO – STATO MODIFICATO).

Si rimanda alle tavole del progetto strutturale ed ai fascicoli di calcolo (elaborati N.1.1, N.1.2, N.2.1, N.2.2, N.3.1, N.3.2, N.4, N.5) inerenti all'edificio ospitante la scuola primaria "Giuseppe Speranza" allo stato di fatto (stato attuale o ante-operam) ed allo stato modificato (stato post- intervento o post-operam).

Di seguito si riportano i valori dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V) dell'edificio allo stato ante-operam (stato di fatto o stato attuale) e allo stato post-operam (stato modificato, raggiunto in seguito all'intervento progettato), pari al valore della PGA corrispondente all'evento sismico che provoca il raggiungimento della capacità per lo stato limite di Salvaguardia della Vita:

• **STATO ATTUALE (Stato ante-operam, prima dell'esecuzione dell'intervento):**

- Classe di Rischio della costruzione: A+ A B C D E F G
- Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V): **55.87749%**
- Valore della Perdita Annuale Media (PAM): 2.630278%

• **STATO MODIFICATO (Stato post- operam, conseguente l'intervento progettato):**

- Classe di Rischio della costruzione: A+ A B C D E F G
- Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V): **74.90104 %**
- Valore della Perdita Annuale Media (PAM): 1.456517 %

Grottammare, lì Ottobre 2019

Il Tecnico: Ing. CARLO CESARONI