



Dott. ing. Vincenzo Bellomo
Progettista strutturale
presso Safety lab
autore del libro "Strutture in
legno lamellare" Grafill editore

22

/ CASE STUDY

LA MODELLAZIONE DI PIÙ MATERIALI PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CANTINA E MUSEO ALLE PENDICI DELL'ETNA.

Premessa

All'interno del contesto urbano catanese, nel comune di Gravina di Catania (CT), su un suolo caratterizzato da sedimenti di origine vulcanica ed alta sismicità, è in corso di realizzazione il complesso strutturale destinato a "MUSEO ENOLOGICO E VISITOR CENTER" che ospiterà la sede delle Cantine Privitera.

Il progetto strutturale, che prevede l'integrazione di diversi materiali quali c.a., c.a. alleggerito, acciaio e legno lamellare, è stato modellato mediante il software "IperSpace-BIM" della Soft.lab S.r.l.

Nel seguito viene riportata una descrizione sintetica delle scelte compositive e strutturali e delle soluzioni tecnologiche adottate, con particolare riferimento al fabbricato principale.

Descrizione dell'opera

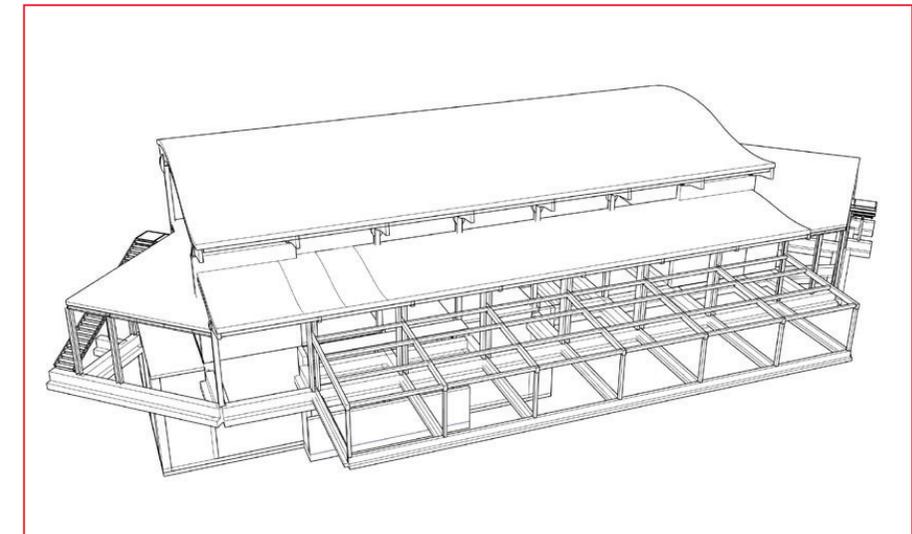
Il progetto ha previsto la realizzazione di diversi manufatti tra i quali: un corpo principale destinato allo svolgimento delle attività di museo e visitor center e un corpo di servizio destinato a collegare il vano interrato ad un altro edificio adiacente e che funge da via di esodo.

L'edificio principale è realizzato con fondazione in c.a., strutture in elevazione in acciaio e c.a., solai collaboranti in acciaio e c.a. alleggerito e copertura in legno lamellare. La superficie dell'intero edificio è di 2.800 m2 circa (suddivisa in quattro impalcati), per una altezza fuori terra di 10,54 m ed una altezza tra l'interrato e la copertura massima pari a 17,15 m. Il volume complessivo dell'edificio è di 13.600 m3 circa.

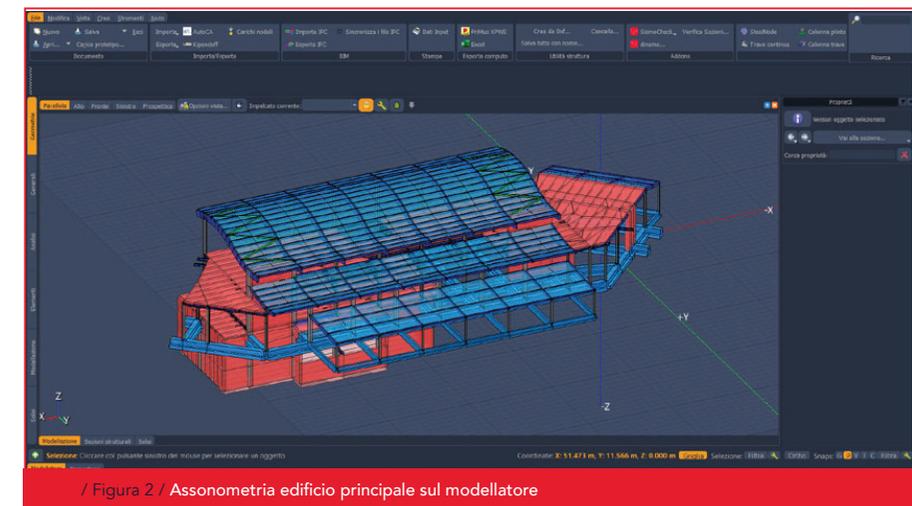
L'edificio si articola in un corpo centrale di forma irregolare che in parte poggia direttamente sul terreno di sedime e in parte ingloba un vano interrato. Le fondazioni sono di tipo diretto a travi rovesce; la porzione interrata dell'edificio ha fondazione a platea. Ad un'estremità del fabbricato e su un fronte laterale più lungo è prevista la realizzazione di due pergolati, rispettivamente di superficie pari a 81 m2 e 230 m2, connessi alla struttura principale sia in fondazione che in elevazione.

Il corpo centrale è coperto da due strutture in legno lamellare poste a differenti quote, caratterizzate da un comportamento leggero ed elastico. La prima copertura ha travi in legno lamellare della qualità GL28H di luce 11,80 m; la seconda copertura, è stata realizzata con travi in legno lamellare, di luce minore e pari a 4,50 m circa.

I solai sono stati realizzati come collaboranti con struttura in acciaio connessa con una soletta in c.a. (dello spessore massimo di 20 cm) con intradosso



/ Figura 1 / Assonometria edificio principale

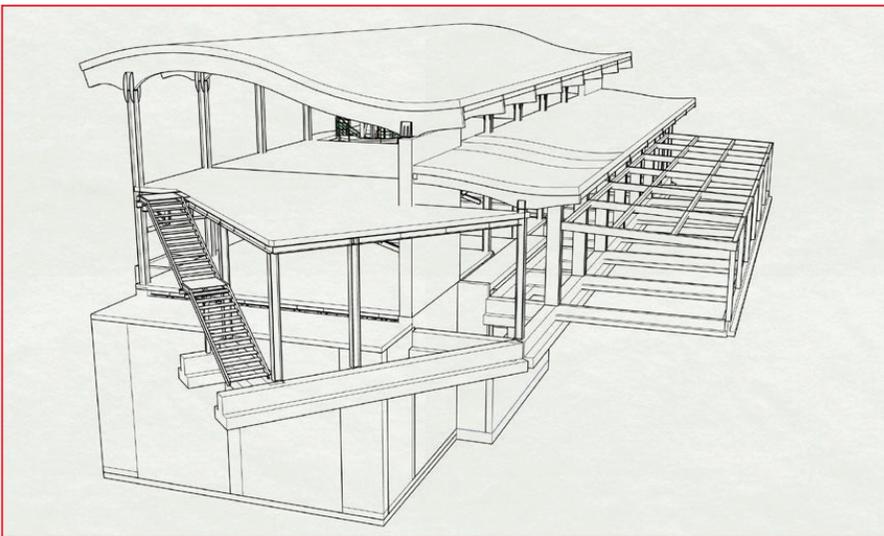


/ Figura 2 / Assonometria edificio principale sul modellatore

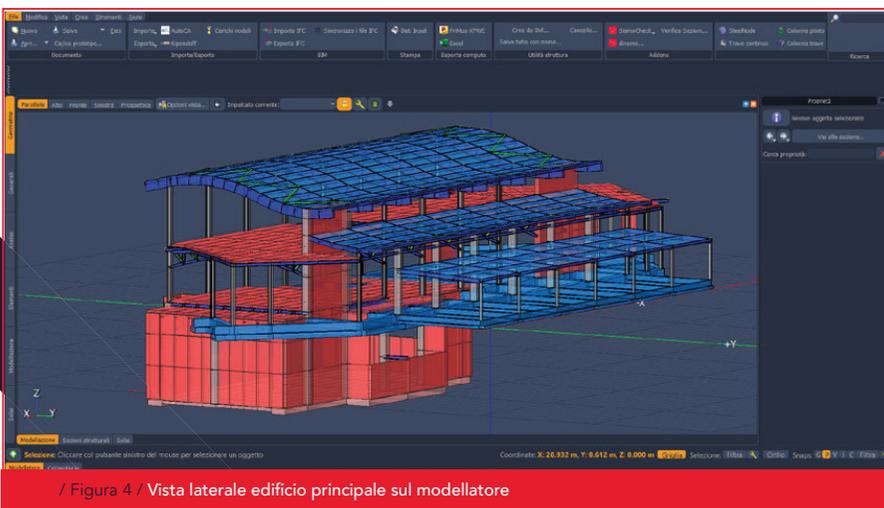
in lamiera collaborante da 0,75 mm, la connessione tra la soletta in c.a. alleggerito (1600 Kg/m³) e la struttura in acciaio avviene con l'adozione di pioli di tipo Nelson.

Tutti i solai sono sorretti in parte da una struttura portante in acciaio ed in parte da una struttura a setti e pilastri in c.a. Gli elementi in acciaio, nella parte direttamente connessa ai pioli Nelson, sono della qualità S355JR, mentre nelle restanti parti sono

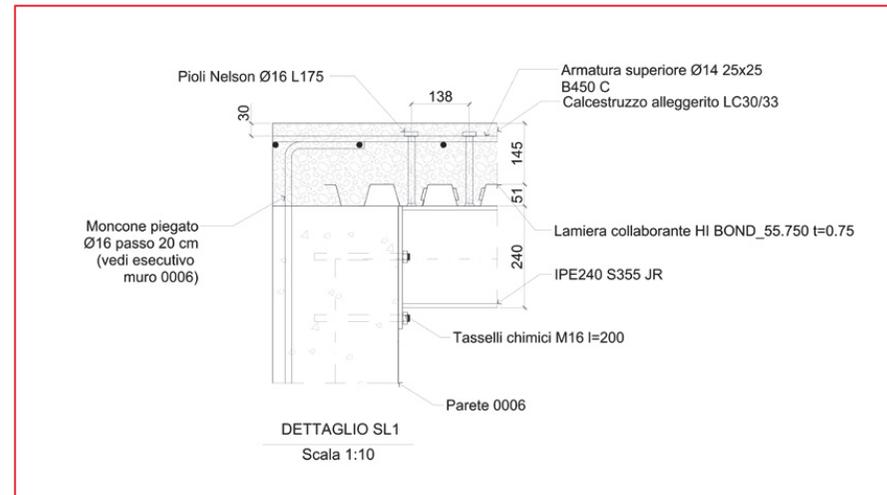
della qualità S275JR. Nella direzione di maggior luce, i solai prevedono l'adozione di travi reticolari in acciaio a catena convessa. Nel vano interrato, tali reticolari sono connesse ai pilastri in c.a. che in parte sono realizzati liberi lateralmente e in parte realizzati all'interno dei muri di contenimento. L'orditura secondaria è costituita da travi IPE240 poste ad un passo di circa 1,20 m.



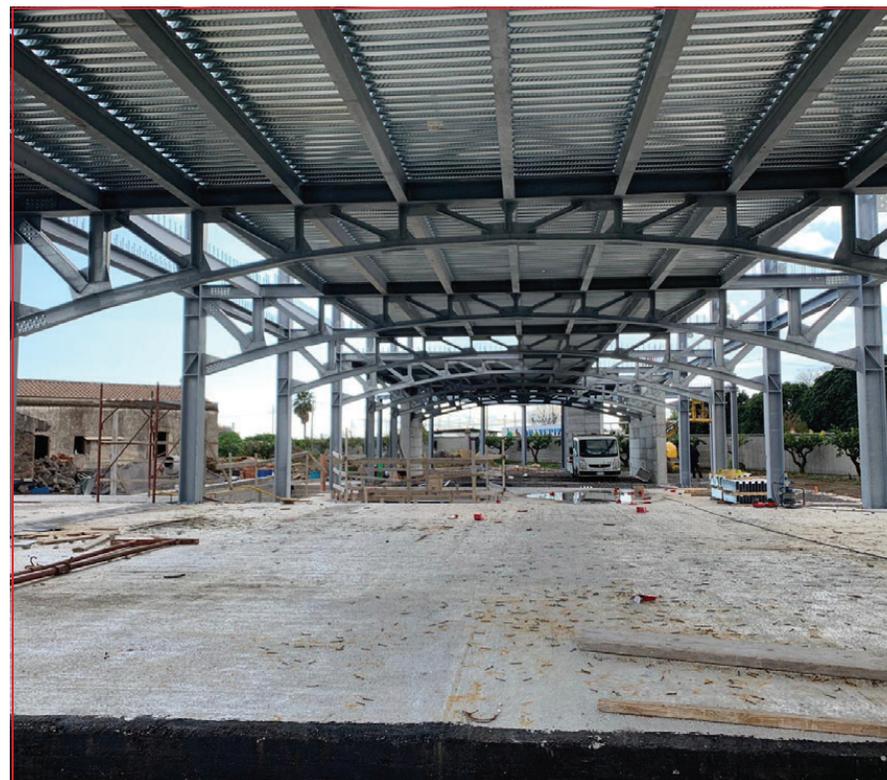
/ Figura 3 / Vista laterale edificio principale



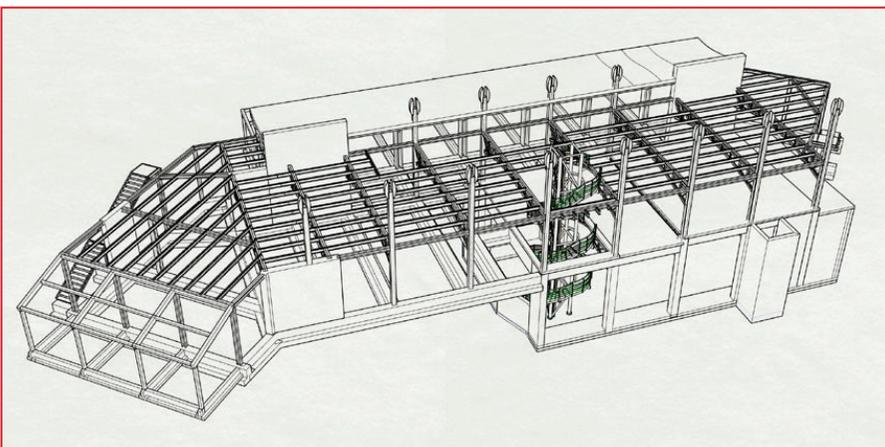
/ Figura 4 / Vista laterale edificio principale sul modellatore



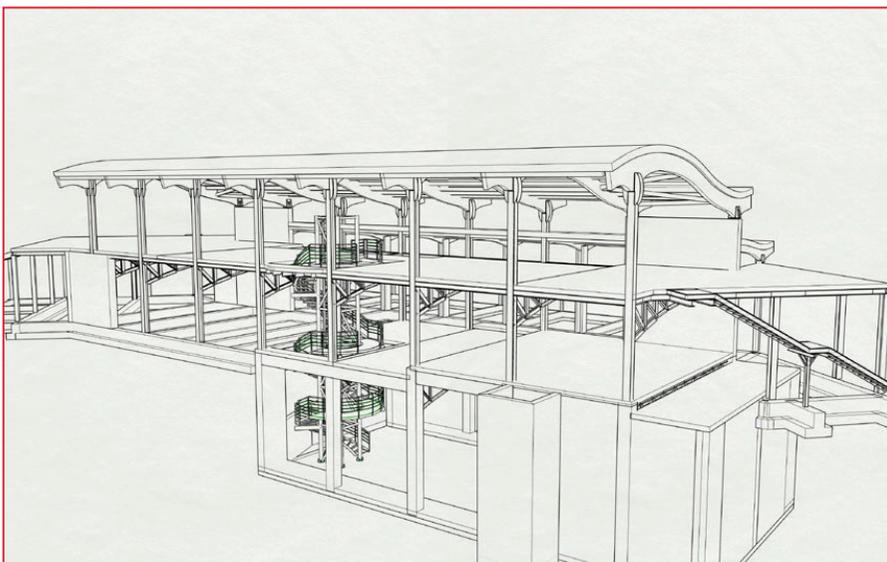
/ Figura 5 / Particolare stratigrafia solaio collaborante



/ Figura 6 / Vista iposcopia struttura impalcato piano primo



/ Figura 12 / Assonometria impalcato piano terra

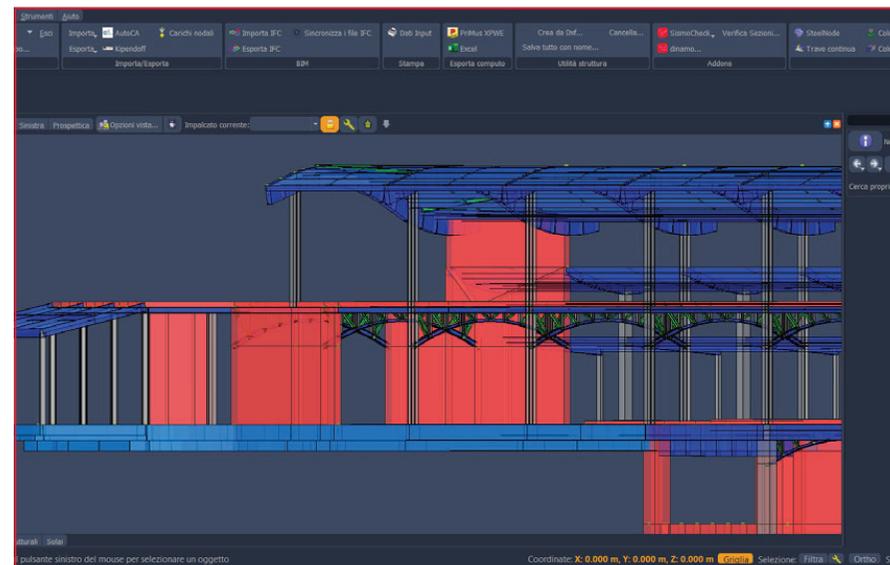


/ Figura 13 / Assonometria impalcato piano terra e primo

un'altezza massima di 13,90 m, spicca direttamente dal vano interrato, gli altri tre setti si dipartono dalla fondazione del livello superiore.

I principi di gerarchia delle resistenze e distribuzione delle sollecitazioni in fase sismica sono stati pienamente rispettati. In primis, il collegamento tra i pilastri in c.a. del vano interrato e la soletta di fondazione rispetta la regola dei momenti resistenti anche localmente perché la soletta viene ingrossata e portata a 50 cm di spessore sotto i pilastri; tale

ringrosso corre per tutta la lunghezza dell'interrato. In seconda battuta, anche nel caso delle travi di fondazione, viene soddisfatto tale principio, sia perché i pilastri in acciaio hanno delle inerzie di gran lunga minori rispetto alle fondazioni, sia perché tra fondazioni che si collegano al vano interrato e travi in c.a. viene garantita la continuità inerziale. In conseguenza di ciò la struttura assume un comportamento omogeneo in entrambe le direzioni sotto sisma. L'accesso al piano primo avviene con una scala in



/ Figura 14.a / Confronto assonometria modellatore realtà



/ Figura 14.b / Confronto assonometria modellatore realtà

acciaio ed ascensore all'interno di un'unica struttura in acciaio a sé stante. Di conseguenza, per evitare l'eccessiva dispersione della matrice di rigidezza di calcolo, l'edificio e la scala sono stati modellati in maniera distinta, avendo l'accortezza di tenere conto, nel modello dell'edificio principale, dell'incidenza del carico dovuto alla scala e all'ascensore.

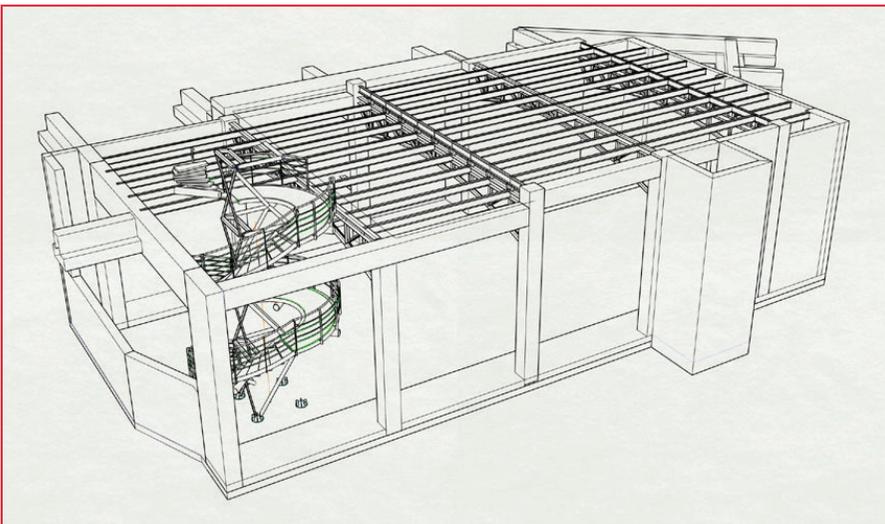
Descrizione degli impalcati

La struttura principale si compone di n. 5 impalcati di cui uno interrato e 4 fuori terra a livelli sfalsati; di seguito la descrizione di ciascun piano.

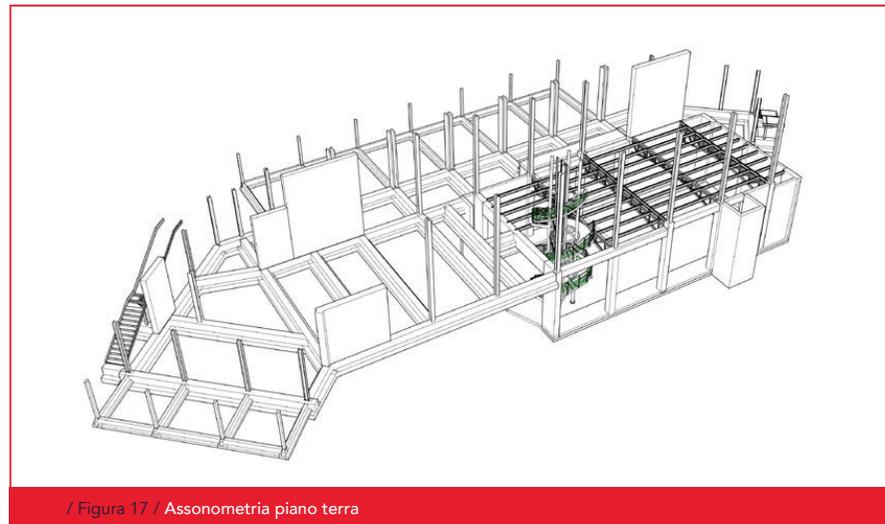
Il piano interrato, di superficie complessiva pari a 305 m², altezza massima 7,40 m circa, ha un volume complessivo di circa 2.250 m³

Il vano interrato è realizzato con muri perimetrali di spessore 25 cm realizzati in c.a. della qualità C30/37 ed una classe di esposizione XC4, intervallati da pilastri in c.a. di sezione 55 cm x 55 cm. Sfruttando le caratteristiche del banco roccioso in fondazione è stato possibile interrompere i muri e realizzare delle finestre che hanno permesso di portare a nudo la roccia che risulta così visibile al piano interrato.

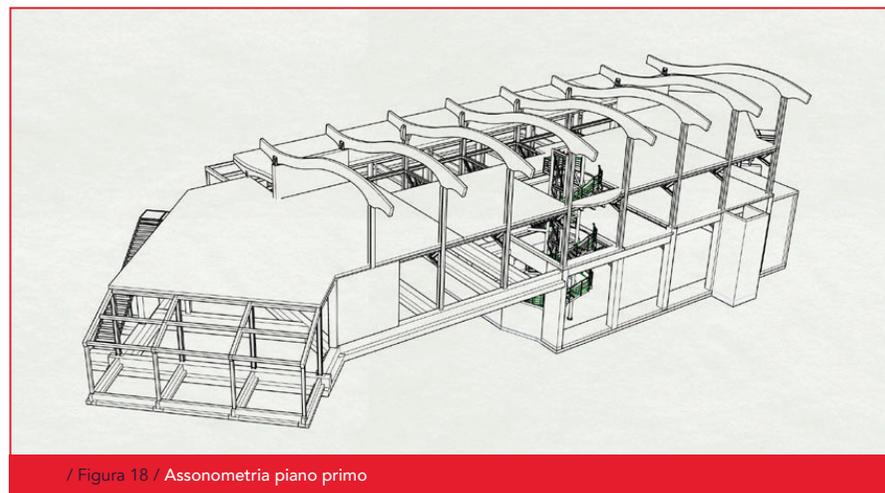
Il piano terra, che si estende per una superficie complessiva di 1.205 m², altezza massima 5,85 m e volume complessivo 7.945,9 m³, si compone di un corpo principale, che ospiterà la vera e propria attività al coperto, e due pergolati che saranno connessi alla struttura principale.



/ Figura 15 / Assonometria impalcato piano interrato



/ Figura 17 / Assonometria piano terra



/ Figura 18 / Assonometria piano primo



/ Figura 16 / Piano interrato con particolare della reticolare e le connessione acciaio - c.a.

La struttura di fondazione del piano terra, di tipo diretto, è stata realizzata tramite travi a T di differente sezione. Una sezione più grande per gli elementi dell'edificio principale e una sezione più piccola per gli elementi accessori (pergolati). In entrambi i casi tali fondazioni sono a diretto contatto con lo strato roccioso che caratterizza il suolo di fondazione.

Il piano primo, di superficie complessiva pari a 686m², altezza massima 5,70 m, è suddiviso in due parti.

Nella prima vi è il solaio collaborante che copre parte del piano terra di superficie pari a 513 m2, la rimanente porzione è caratterizzata da una coper-

tura in legno lamellare di superficie pari a 173 m2.

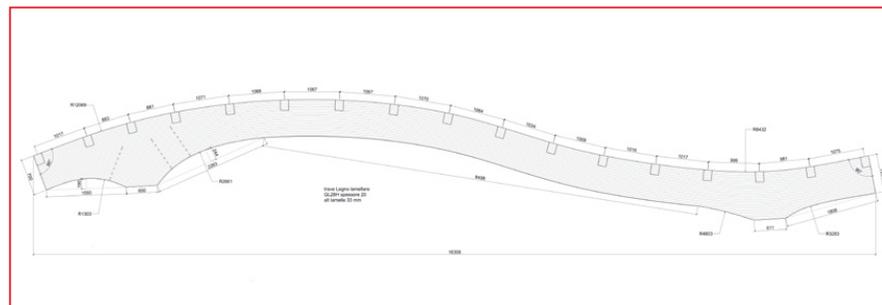
Il solaio collaborante presenta due vuoti. Il primo è dovuto ad esigenze architettoniche. Il secondo, che parte dal piano terra e arriva fino a all'impalcato del piano primo, è ricavato per ospitare successivamente un vano scala ed ascensore che sarà di tipo autoportante.

Connessa alla detta copertura in legno, il progetto prevede la diretta connessione con un pergolato mediante un unico pilastro in legno lamellare a forcella che porta sia parte del pergolato che parte della copertura. Tale pilastro è connesso alle fondazioni tramite apposita piastra in acciaio.

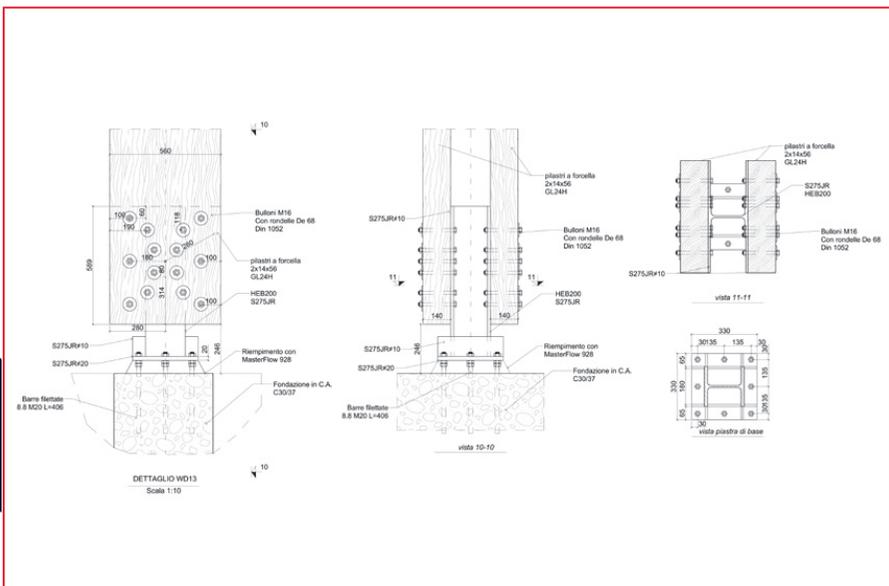


/ Figura 19 / Foto aerea piano primo

L'impalcato di copertura, di superficie complessiva pari a 592 m², altezza massima 5,70 m, volume complessivo 3.374,4 m³, è realizzato interamente in legno lamellare, con l'uso di legno di qualità GL28H per l'orditura principale e con legno lamellare di qualità GL24H per l'orditura secondaria. Le connessioni legno-legno sono state realizzate tramite viteria apposita rispettante le norme DIN1052 e verificate secondo L'EC5. Le connessioni legno - c.a. sono realizzate tramite l'inserimento di elementi in acciaio. Le travi principali hanno una sagomatura irregolare:



/ Figura 21 / Particolare trave in legno principale



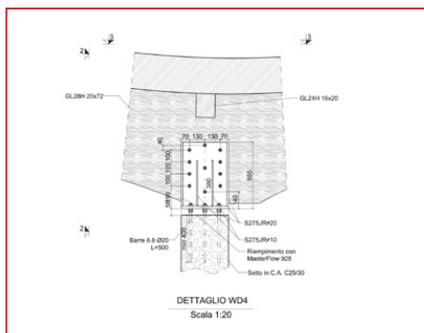
/ Figura 20 / Particolare pilastro tettoia - pergolato



/ Figura 22 / Foto trave principale

La particolare sagomatura delle travi di copertura prevede dei punti deboli. Tali punti sono stati rinforzati tramite l'uso di barre WB inserite nella sezione del legno.

Le travi sono connesse sia alla struttura in acciaio (collegata ai pilastri) che ai setti in c.a.; in quest'ultimo caso sono state utilizzate delle piastre in acciaio connesse al c.a. tramite tirafondi.



/ Figura 23 / Particolare connessione trave in legno pilastro



/ Figura 24 / Particolare rinforzo travi in legno lamellare

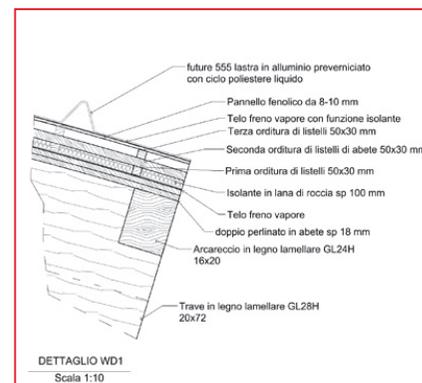


/ Figura 26 / Foto connessione trave in legno pilastro acciaio



/ Figura 25 / Foto connessione trave in legno setto in c.a.

Il pacchetto di copertura è stato realizzato a secco e prevede la seguente stratigrafia:



/ Figura 27 / Stratigrafia pacchetto copertura

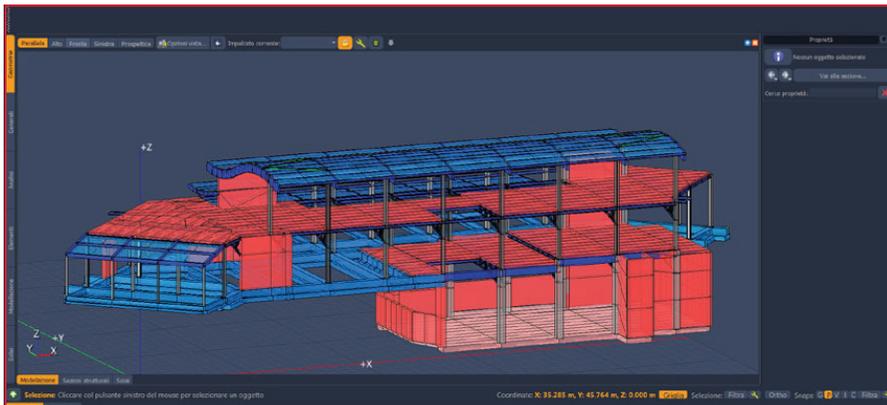
La modellazione

Per la modellazione ed il dimensionamento dell'edificio è stato utilizzato il software IperSpace-BIM nella versione 2.0.2.

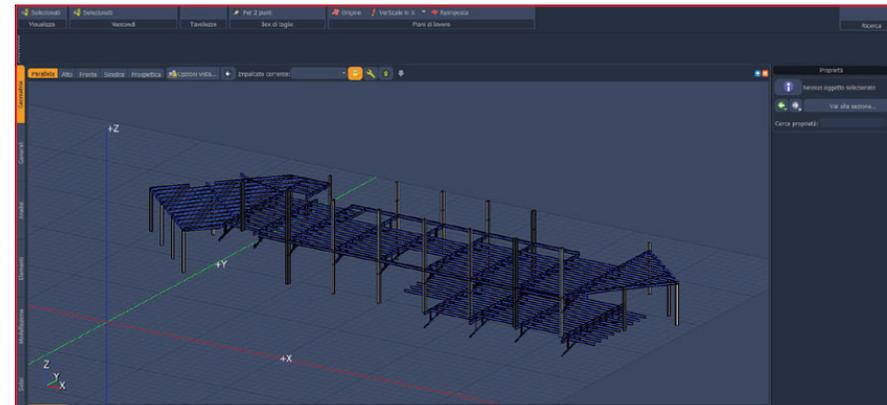
Vista la complessità del progetto, è stato necessario implementare due modelli, il primo dei quali per l'intero edificio principale, il secondo relativo alla scala ed ascensore.

Grazie alla versatilità del programma è stato possibile modellare nella maniera più accurata possibile tutti gli elementi strutturali, come le fondazioni in c.a. e le platee di fondazione.

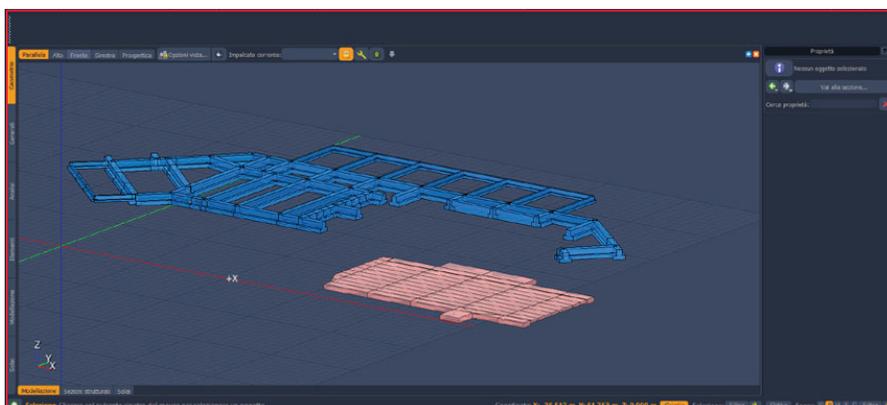
I pilastri ed i setti in c.a. imputati agevolmente, così come le travi ed i pilastri in acciaio e le travi ed i pilastri in legno lamellare anche nella loro forma più complessa. La modellazione dei solai collaboranti in c.a. e acciaio è stata ottenuta considerando un elemento piano, connesso con le travi in acciaio tramite nodi coincidenti. Al fine di avere una modellazione congruente, ogni connessione tra trave principale e secondaria coincide anche con un nodo di un elemento piano.



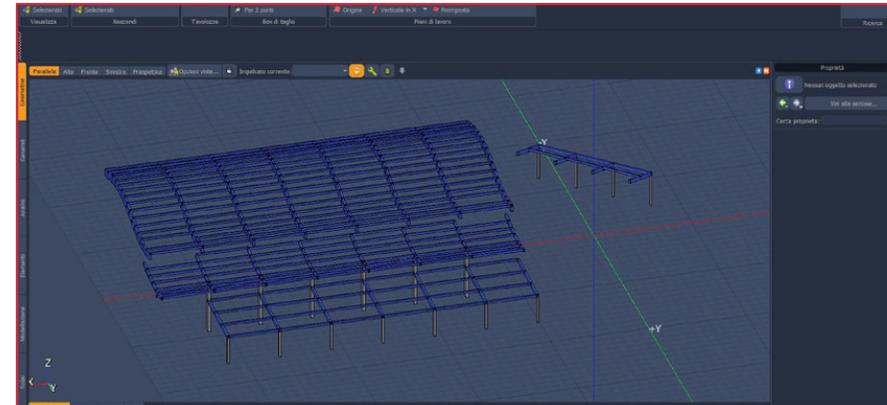
/ Figura 28 / Modello iperspace



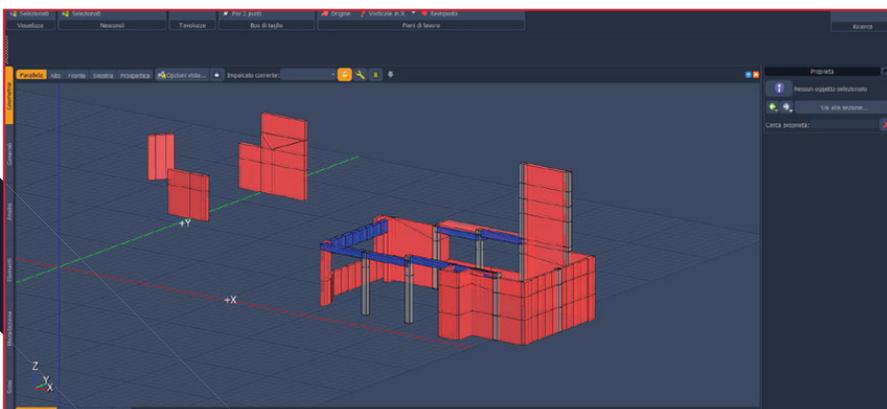
/ Figura 31 / Modello iperspace – travi e pilastri in acciaio



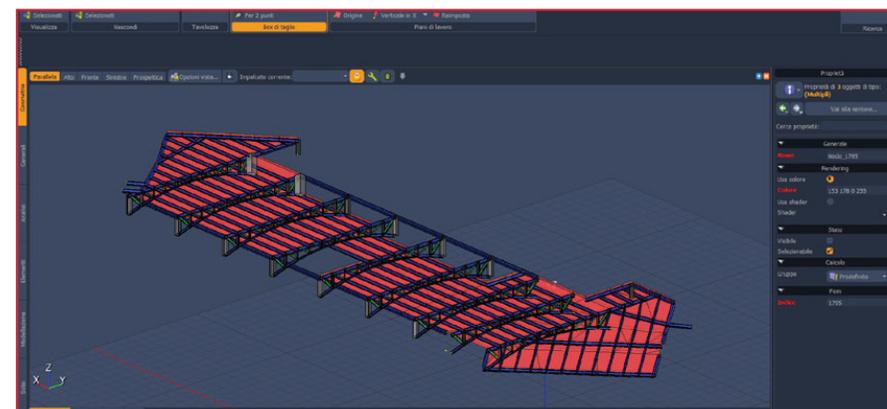
/ Figura 29 / Modello iperspace – travi fondazione e platee



/ Figura 32 / Modello iperspace – elementi in legno – travi e pilastri

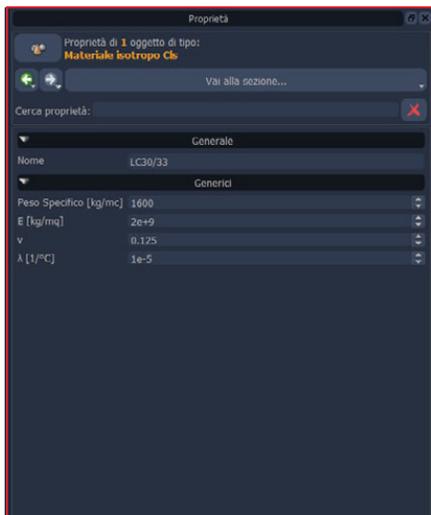


/ Figura 30 / Modello iperspace – setti e travi in c.a.

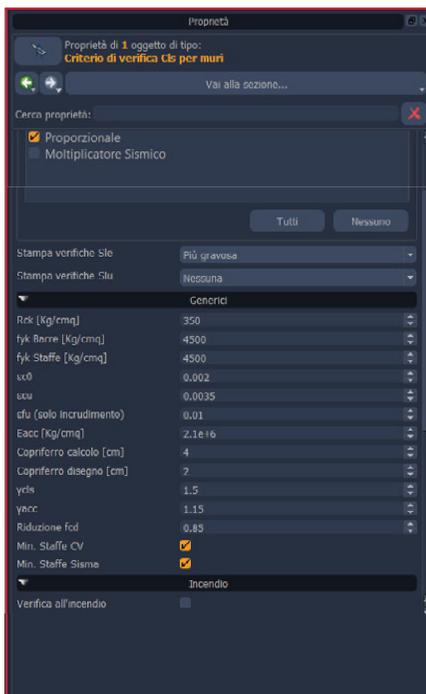


/ Figura 33 / Modello iperspace – travi ed elementi piani – vista iposcopica

Come detto in precedenza, per tali solai collaboranti è stato utilizzato del calcestruzzo alleggerito, pertanto si è reso necessario definire un nuovo materiale all'interno di Iperspace per tenere conto delle caratteristiche di minor peso e delle caratteristiche meccaniche richieste dal software.



/ Figura 34 a / Modello Iperspace – definizione materiale e criterio di verifica



/ Figura 34 b / Modello Iperspace – definizione materiale e criterio di verifica

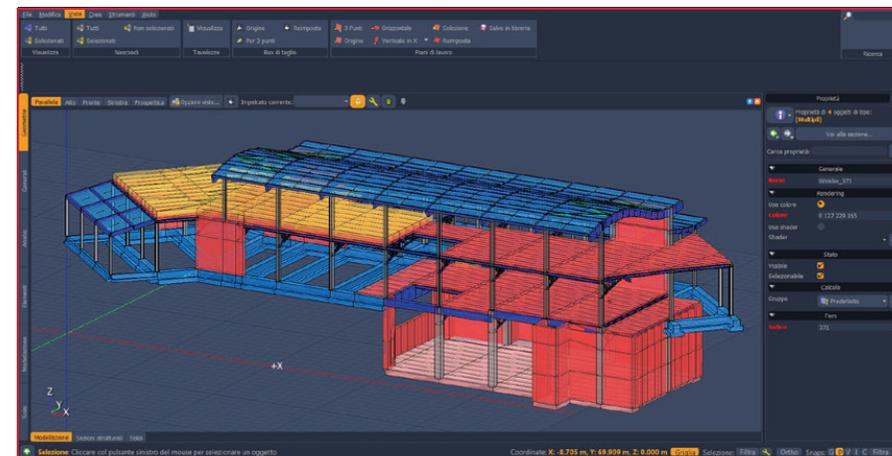
Particolarmente interessante è stata la modellazione in termini di carichi per i quali Iperspace ha permesso l'inserimento di differenti tipologie, in particolare quelli dovuti alle spinte del terreno che nel piano interrato erano fondamentali.

Modellando degli elementi piani al posto dei solai è stato necessario inserire manualmente le condizioni di carico relative ai solai e, vista la notevole estensione di questi ultimi, è stato interessante partizionare gli stessi per analizzare il comportamento

della struttura a carichi asimmetrici. Analizzando, ad esempio, il carico accidentale applicato solo a metà solaio del primo impalcato.

Oppure il carico accidentale per la sola altra metà del solaio, oppure ancora caricando l'intero impalcato.

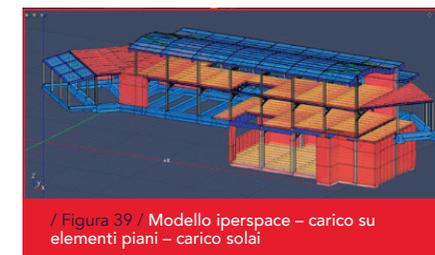
Lo stesso procedimento è stato adottato per caricare le platee, tenendo conto dei carichi accidentali dovuti anche al peso dell'ascensore modellato a parte.



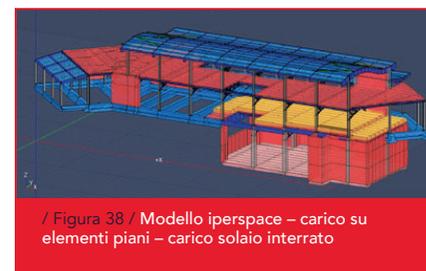
/ Figura 36 / Modello Iperspace – carico su elementi piani metà solaio



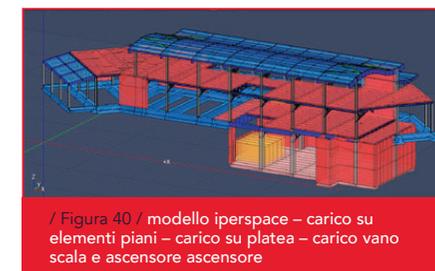
/ Figura 37 / Modello Iperspace – carico su elementi piani altra metà solaio



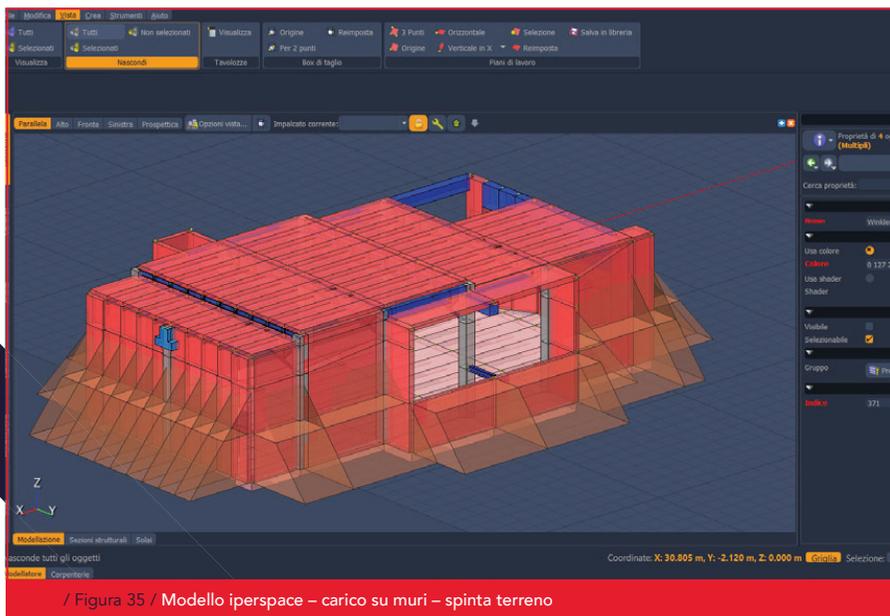
/ Figura 39 / Modello Iperspace – carico su elementi piani – carico solai



/ Figura 38 / Modello Iperspace – carico su elementi piani – carico solaio interrato



/ Figura 40 / modello Iperspace – carico su elementi piani – carico vano scala e ascensore



/ Figura 35 / Modello Iperspace – carico su muri – spinta terreno

Tutto ciò è stato fatto gestendo le corpose condizioni di carico con le relative combinazioni.

	C1	C2	C3	C4	C5
Descrizione	Sisma X	Sisma Y	Sisma X geo	Sisma Y geo	Folla compatta +termico
Analisi	Modale STR	Modale STR	Modale GEO	Modale GEO	STR+GEO
Spettro	Gravina	Gravina	Gravina	Gravina	
Angolo ingresso sisma [°]	0	90	0	90	0
Fattore sisma	1	1	1	1	1
Kmod	1	1	1	1	1
Solo travi					
Peso Proprio	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>				
QP Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>				
QFissi Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>				
QV Solai	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi0	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi1	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi2	0	0	0	0	0
Vento X	0	0	0	0	0
Vento Y	0	0	0	0	0
Carichi termici	0	0	0	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>
Spinta terreno	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>				
Vento -Y	0	0	0	0	0

/ Figura 41.a / Modello iperspace – combinazione di carico

	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Descrizione	Folla P1 2/2 +P1	Folla P1 1/2 +P1	Folla P1 2/2	Folla P1 1/2	Folla P1	Folla Cc
Analisi	STR+GLO	STR+GLO	STR+GLO	STR+GLO	STR+GLO	SI
Spettro						
Angolo ingresso sisma [°]	0	0	0	0	0	0
Fattore sisma	1	1	1	1	1	1
Kmod	1	1	1	1	1	1
Solo travi						
Peso Proprio	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
QP Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
QFissi Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
QV Solai	0	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi0	0	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi1	0	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi2	0	0	0	0	0	0
Vento X	0	0	0	0	0	0
Vento Y	0	0	0	0	0	0
Carichi termici	0	0	0	0	0	0
Spinta terreno	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
Vento -Y	0	0	0	0	0	0

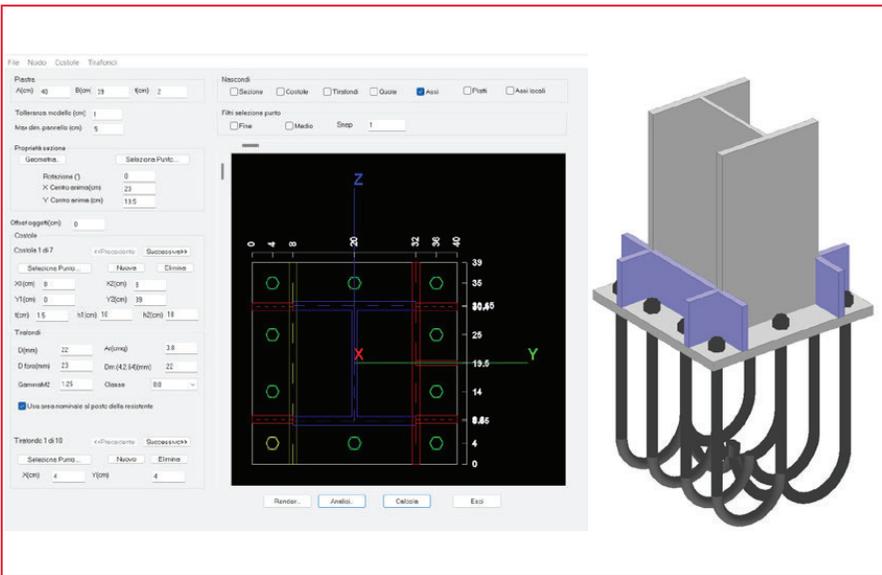
/ Figura 41.c / Modello iperspace – combinazione di carico

	C6	C7	C8	C9
Descrizione	Termico	Folla Compatta + vento Y	Folla compatta + Vento X	Folla Compatta + neve
Analisi	STR+GEO	STR+GEO	STR+GEO	STR+GEO
Spettro				
Angolo ingresso sisma [°]	0	0	0	0
Fattore sisma	1	1	1	1
Kmod	1	1	1	1
Solo travi				
Peso Proprio	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>			
QP Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>			
QFissi Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>			
QV Solai	0	0	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>
QV SolaiPsi0	0	0	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>
QV SolaiPsi1	0	0	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>
QV SolaiPsi2	0	0	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>
Vento X	0	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>	0
Vento Y	0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Carichi termici	1.5 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0
Spinta terreno	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>			
Vento -Y	0	0	0	0

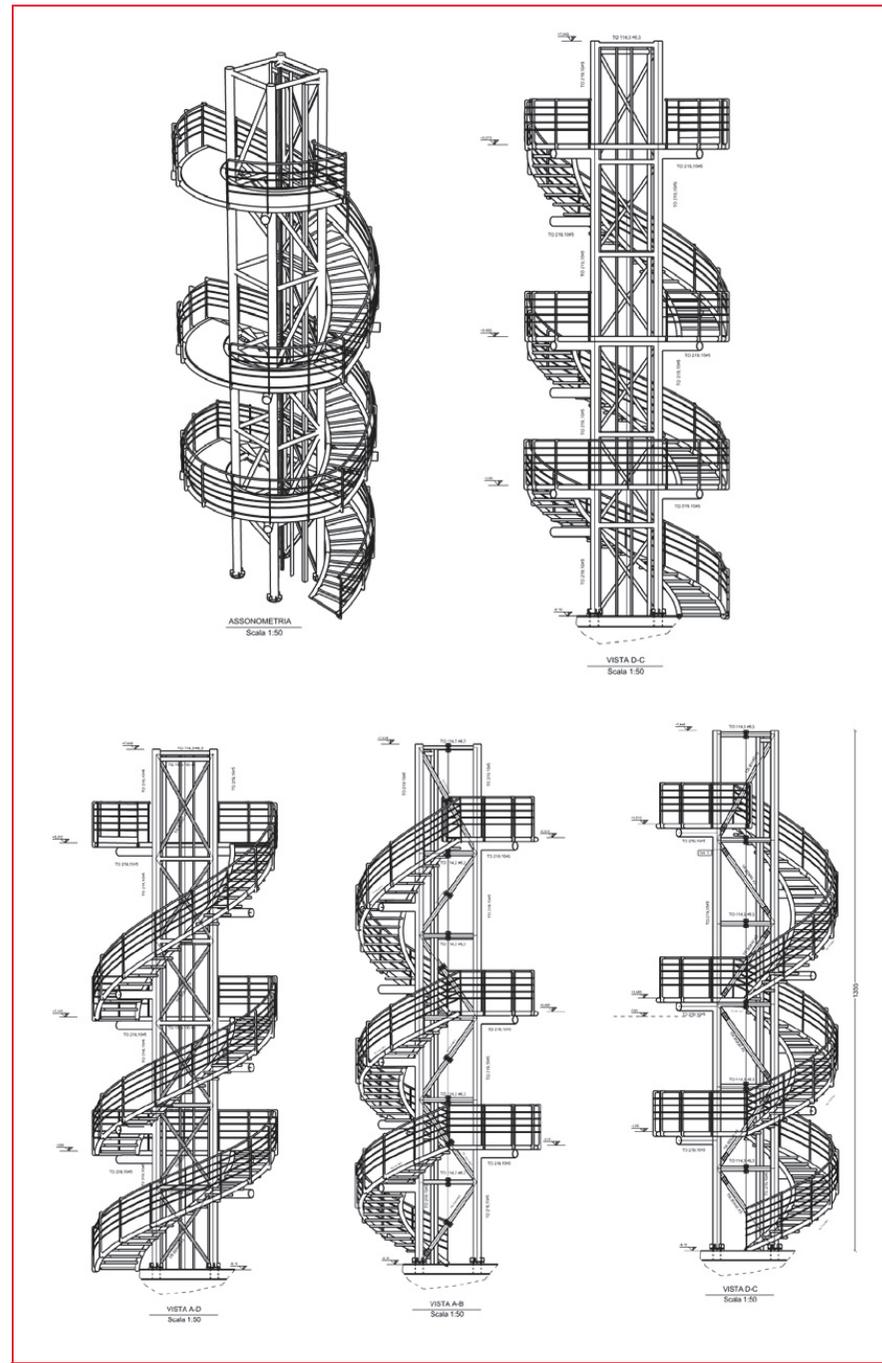
/ Figura 41.b / Modello iperspace – combinazione di carico

	C17	C18	C19	C20	C21	C22
Descrizione	Vento X+neve	Vento Y-	Vento Y	Vento X	Peso proprio	Masse
Analisi	STR+GEO	STR+GEO	STR+GEO	STR+GEO	STR+GEO	
Spettro						
Angolo ingresso sisma [°]	0	0	0	0	0	0
Fattore sisma	1	1	1	1	1	1
Kmod	1	1	1	1	1	1
Solo travi						
Peso Proprio	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
QP Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
QFissi Solai	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
QV Solai	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi0	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi1	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	0	0
QV SolaiPsi2	1.1 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	0	0
Vento X	0	0	0	1.5 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Vento Y	0	0	1.5 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0
Carichi termici	0	0	0	0	0	0
Spinta terreno	1.3 <input checked="" type="checkbox"/>					
Vento -Y	0	1.5 <input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0	0

/ Figura 41.d / Modello iperspace – combinazione di carico



/ Figura 42 / modello iperspace – verifica nodo colonna - fondazione



/ Figura 44 / Progetto scala elicoidale e vano ascensore



/ Figura 43 / modello iperspace – scala elicoidale modellazione

Contemporaneamente alla verifica degli elementi travi, setti, pilastri ed aste generiche è stata possibile la verifica dei giunti in acciaio, sempre all'interno dello stesso software.

Infine, oltre all'edificio principale, è stata modellata la struttura ospitante l'ascensore e la scala di collegamento tra il piano terra e l'interrato per il cui calcolo è stata implementata una struttura a spirale con controventi non concentrici.