

# Progettazione di un edificio residenziale in muratura armata a Mirandola (MO)

Nicola Volponi<sup>1</sup>, Alberto Pellicciari<sup>2</sup> ■



**Progetto/Nome dell'opera:**  
Edificio residenziale in muratura armata

**Ubicazione:**  
Loc. Cividale, Mirandola (MO)

**Committente:**  
S.T.E.P. Srl

**Progettazione opere Strutturali:**  
Ing. Nicola Volponi, Ing. Alberto Pellicciari

**Progettista e D.L.:**  
Studio Tecnico Ing. Alberto Pellicciari

**Anno di completamento dei lavori:**  
2011

## 1. Introduzione

I moderni sistemi costruttivi in muratura, congiuntamente agli attuali metodi di progettazione, permettono di realizzare strutture in muratura portante in zona sismica controllandone il comportamento e garantendo elevati livelli di sicurezza. I sistemi in muratura armata, in particolare, possono essere molto efficaci sotto questo punto di vista, tanto da trovare naturale impiego nelle zone ad alta sismicità. Nella presente scheda sono riassunte le principali informazioni riguardanti la progettazione in zona sismica e la successiva realizzazione di un edificio residenziale in muratura armata avente una pianta pressoché quadrata, composto da due piani fuori terra ed una copertura a falde inclinate.

In generale, le notevoli caratteristiche prestazionali di un sistema portante in muratura armata, se associate ad una corretta concezione strutturale dell'edificio, può condurre ad un elevato livello di sicurezza, desumibile fra l'altro dal confronto tra richiesta e capacità di spostamento sulla curva di capacità della struttura, in certi casi anche nonostante la presenza di configurazioni non perfettamente regolari in pianta. Nel caso dell'edificio in esame, una particolarità che lo contraddistingue è data dal

<sup>1</sup> Ingegnere, afferente allo Studio Tecnico Ing. Alberto Pellicciari, Mirandola (MO)

<sup>2</sup> Ingegnere, Studio Tecnico Ing. Alberto Pellicciari, Mirandola (MO)  
✉ studio@studiotecnicopellicciari.it

fatto di essere stato edificato in località Cividale, presso Mirandola (MO), un anno prima della sequenza sismica Emiliana del 20-29 maggio 2012 e di aver superato indenne questi eventi. Tale costruzione ha così confermato sia quanto già osservato nella ricognizione dei danni post-sisma, i cui risultati sono stati pubblicati sul n.3-2012 di questa rivista (articolo "Comportamento degli edifici in muratura nella sequenza sismica del 2012 in Emilia" di Bracchi et al.), sia l'attendibilità delle procedure di progetto definite dall'attuale normativa (NTC 08).

## 2. Caratteristiche generali dell'edificio

Il fabbricato in esame è un edificio di tipo residenziale unifamiliare realizzato, come anticipato, nel comune di Mirandola (MO). Ai sensi della vigente normativa (NTC 08) l'intervento è identificabile globalmente come "nuova costruzione in muratura portante armata" poggiate su suolo di categoria C, ex-zona sismica 3.

Il corpo di fabbrica è costituito da una struttura con un ingombro in pianta di dimensioni 17.00 x 17.10 m ed un'altezza massima all'imposta di falda pari a 9.15 m, composta da due piani che si sviluppano interamente fuori terra (altezza interpiano di circa 3.00 m) e da una copertura a falde inclinate (si vedano a tale proposito, per maggiori dettagli, le piante e le sezioni di Figura 2, i prospetti di Figura 3, oltre ai rendering 3D relativi a vedute esterne d'insieme di Figura 1). Non sussistono problemi in merito alla distanza dell'edificio dalla strada prospiciente.

Gli elementi che costituiscono la costruzione dal punto di vista strutturale consistono in:

- Fondazioni realizzate mediante travi rovesce in c.a. di larghezza 100 cm con piano di posa posto a circa -1.00 m dal piano campagna, altezza complessiva di 100 cm, verificate in campo statico e sismico calcolandone le pressioni massime trasmesse al terreno mediante l'ipotesi di suolo elastico alla Winkler. L'armatura è costituita da un graticcio di gabbie metalliche con armature longitudinali e doppie staffe che seguono l'andamento della sezione della trave. In Figura 4 sono mostrati la pianta delle fondazioni, un esempio di carpenteria ed armatura di una sezione delle travi rovesce costituenti il sistema di fondazione, il dettaglio del nodo tra la fondazione ed il muro portante in muratura impostato sopra di essa.
- Muratura portante armata in opera, di spessore pari a 30 cm (tranne che per le pareti interne di spessore 25 cm), costituita da blocchi di laterizio alveolato, malta cementizia M12 ed armature metalliche verticali ed orizzontali di tipo B450C (si vedano le

Figure 5 e 7 per maggiori dettagli).

- Alcuni pilastri in c.a. aventi semplicemente scopo di sostegno statico, in quanto l'intero sforzo sismico è affidato alle sole murature portanti armate.
- Scale interne con struttura in c.a.
- Primo solaio di spessore 20+5 cm situato a quota +2.97 m, secondo solaio soppalcato, di spessore 20+4 cm, a quota +6.13 m. Entrambe i solai di piano, infinitamente rigidi e realizzati in calcestruzzo con pignatte di alleggerimento e cappa in calcestruzzo armato, sono dotati di cordolatura di c.a. (si vedano le Figure 6 e 8 per ulteriori dettagli)
- Travi di piano in c.a. di varie dimensioni, a seconda della richiesta progettuale.
- La copertura in legno è a due falde di tipo non spingente, ancorata ai cordoli di coronamento delle murature portanti con angolari metallici e completata con doppio tavolato incrociato per conferire rigidità all'impalcato. Le travi di colmo sono in legno lamellare di dimensioni 20x40 cm. La struttura portante prevede l'ammorsamento ai cordoli sommitali ed alle travature di colmo della soletta tramite la connessione alla parte di calcestruzzo armato mediante vitoni mordenti (in Figura 9 è rappresentata una vista in pianta della copertura).

L'effetto stabilizzante nei confronti delle azioni orizzontali è assicurato dal comportamento scattolare dell'edificio, grazie alla presenza delle pareti in muratura armata, a cui è richiesto di sopportare l'intera azione sismica, ed al buon ammorsamento realizzato fra di esse e fra i solai rigidi.

Per quanto riguarda i materiali, le fondazioni e gli elementi in elevazione in c.a. sono realizzati con calcestruzzo tipo C25/30 e barre in acciaio nervate tipo B450 C. La carpenteria metallica è realizzata con acciaio tipo S275. Per gli elementi di copertura è stato impiegato legno lamellare resinoso tipo GL24h, classe di servizio 1 e legno massello resinoso, tipo C24, classe di servizio 1.

## 3. Criteri di modellazione, progetto e verifica

La modellazione dell'edificio è stata eseguita mediante il software di calcolo agli elementi finiti AndilWall, dettaglio non del tutto irrilevante, data la contemporanea presenza di elementi portanti in muratura armata e di pilastri in c.a. È stato possibile imporre l'ipotesi di piano rigido in corrispondenza dei due orizzontamenti grazie alle caratteristiche di rigidità in piano dei solai ed al buon livello di vincolo previsto con gli elementi in elevazione.

Il progetto è stato effettuato considerando una Classe d'uso ordinaria, Vita Nominale  $V_N = 50$  anni, Categoria Topografica  $T1 = 1$  e Categoria di suolo di fondazione C (terreno a grana fine mediamente consistente).

La sicurezza nei confronti delle azioni agenti e le prestazioni della struttura sono stati valutati verificando gli stati limite definiti di concerto con il Committente in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme attuali.

In particolare si è verificata la sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU, eccessive deformazioni permanenti degli elementi portanti), di esercizio (SLE, limitazioni nell'uso della struttura), di danno (SLD, eccessive deformazioni degli elementi non strutturali e fessurazioni di quelli strutturali), della robustezza nei confronti di azioni accidentali (incendi, urti, esplosioni, errori umani). Per quanto riguarda le fasi costruttive intermedie, inoltre, la struttura non è risultata sollecitata in maniera più gravosa della fase finale. La verifica sismica (si vedano le Figure 10 e 11 per i dettagli relativi all'input sismico) delle murature portanti è stata condotta effettuando analisi modali ed analisi statiche non lineari su di un modello tridimensionale (Figura 12). Più precisamente, è stata realizzata una modellazione tridimensionale dell'edificio a macroelementi, nella quale la struttura portante, costituita da elementi verticali (pareti in muratura armata e/o ordinaria, pilastri e/o pareti in c.a.) ed elementi orizzontali (travi di accoppiamento, cordoli e travi in c.a.) è schematizzata dal software di calcolo come un telaio 3D equivalente costituito da elementi monodimensionali ad asse verticale. Il carico sismico è sopportato dai setti in

muratura armata. La copertura, di pendenza inferiore al 30%, è schematizzata come piana e posizionata ad un'altezza intermedia rispetto alla quota di gronda.

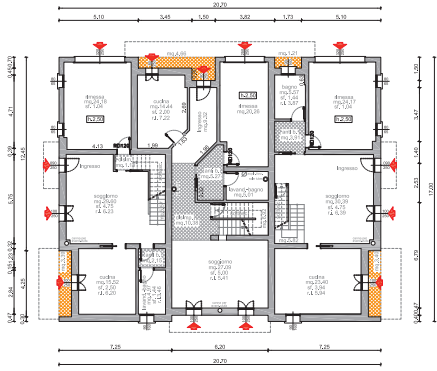
L'analisi statica non lineare fornisce come risultato principale la curva forza di taglio totale alla base – spostamento del punto di controllo in sommità, che permette di effettuare la verifica globale della costruzione. Nelle Figure 13 e 14 sono riportate tali curve forza-spostamento determinate mediante la distribuzione di carico principale, per diverse combinazioni dell'azione sismica e degli effetti dell'eccentricità accidentale delle masse. Si può notare come le richieste di spostamento per lo SLD (linea tratteggiata verde) e per SLU (tratto punto fucsia), siano minori della effettiva capacità di spostamento della struttura, identificata dal cerchio verde scuro (SLO), cerchio verde chiaro (SLD) e cerchio fucsia (SLV).

Le verifiche locali in termini di sollecitazione, discendenti dall'analisi complessiva della struttura in cui si tiene conto della posizione mutua tra i muri, della disposizione degli impalcati rigidi e della eventuale presenza di cordoli e tiranti, sono state effettuate considerando gli effetti sia in piano, sia fuori piano delle pareti. In conseguenza di ciò, si generano una pressione distribuita lungo tutta la superficie del muro, dovuta al suo peso proprio, e delle eventuali azioni concentrate dovute a masse che gravano sul muro in punti dove quest'ultimo non è efficacemente vincolato a un impalcato rigido. Nelle Figure da 15 a 18 sono rappresentate alcuni dettagli delle fasi di cantiere (la realizzazione dei solai ed alcune viste dall'esterno in fase di completamento dei lavori).

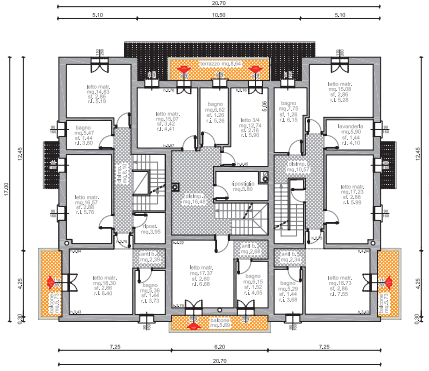
Figura 1  
Rendering 3D, realizzati in fase di progetto, raffiguranti due vedute esterne d'insieme dell'edificio.



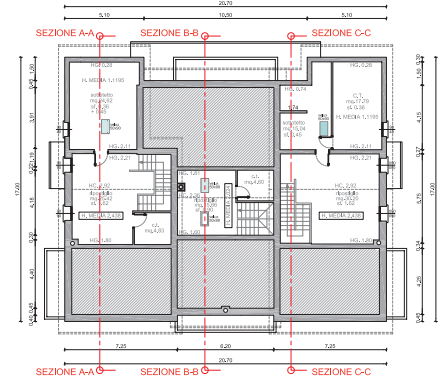
Piano Terra



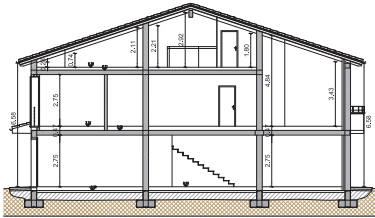
Piano Primo



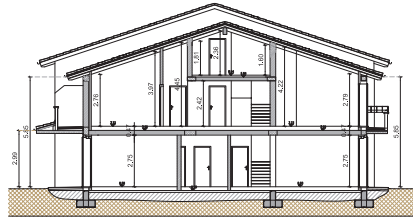
Piano Secondo



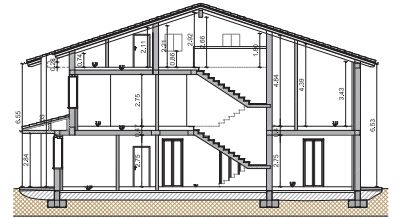
Sezione A-A



Sezione B-B



Sezione C-C



Prospetto nord



Prospetto est

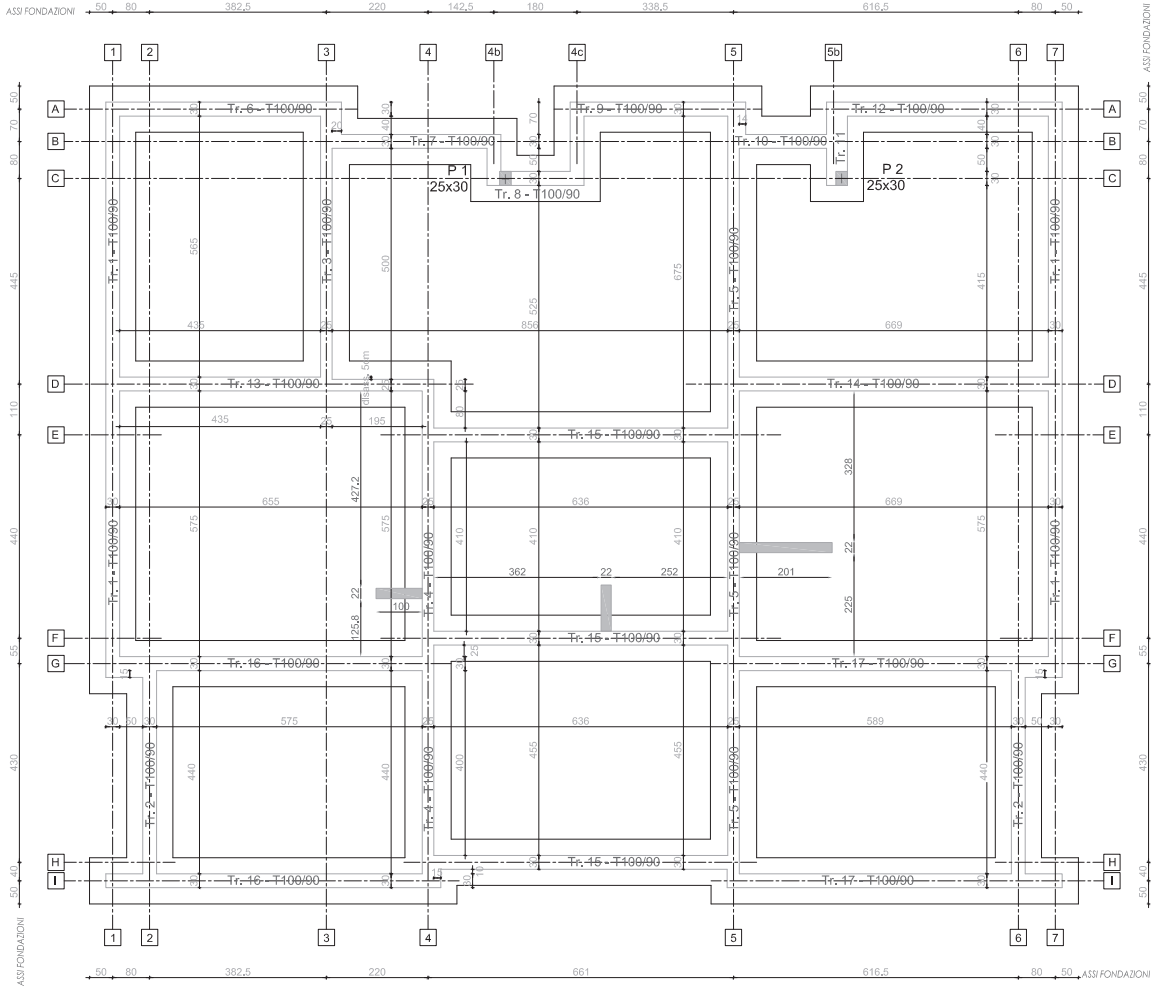


Prospetto ovest



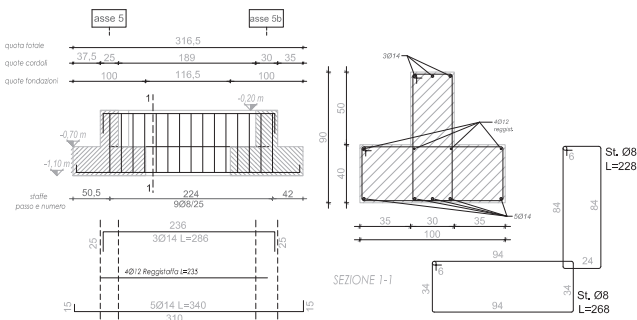
Prospetto sud





Pianta Fondazioni

Figura 2  
Edificio residenziale in muratura armata (pagina precedente, parte in alto):  
a) piante del piano terra, del primo piano e della copertura;  
b) tre sezioni significative.

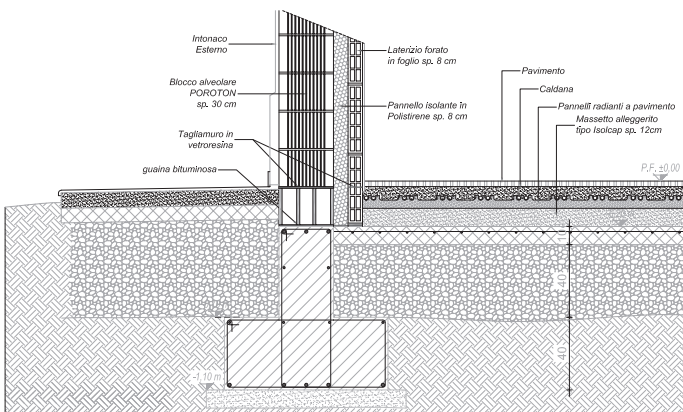


TRAVE 10 - ASSE "B" - quantità: n.1

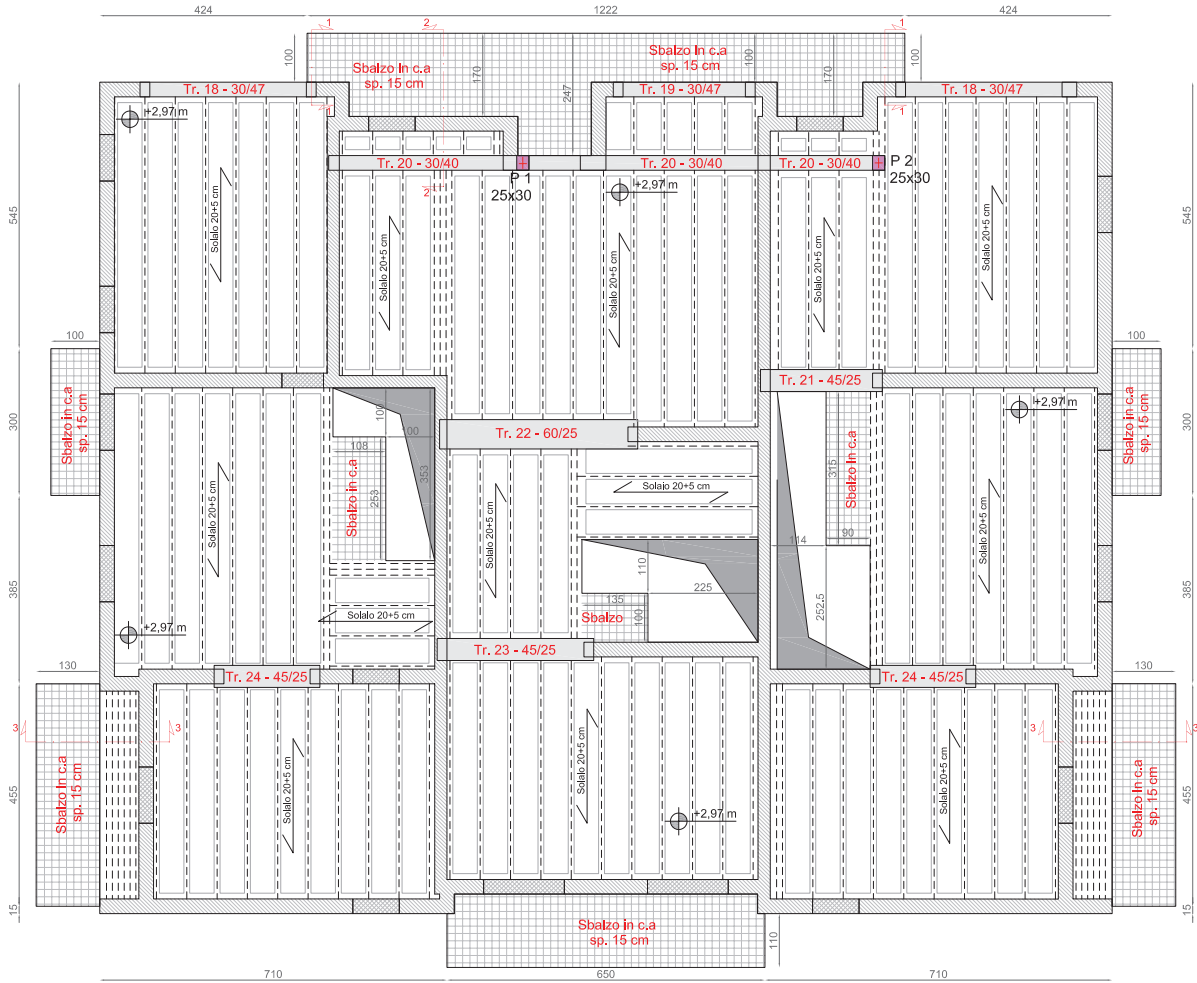
Figura 3  
I quattro prospetti principali della struttura esaminata (pagina precedente, parte in basso).

Figura 4  
Pianta delle fondazioni dell'edificio con un dettaglio dell'armatura di una trave rovescia e dell'ammorsamento fra la fondazione e la muratura portante.

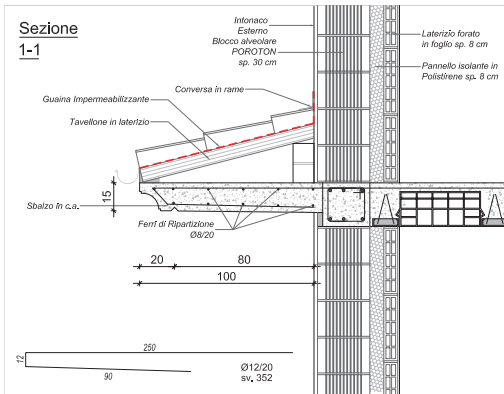
Particolare fondazione







Carpenterie 1° Solaio



**Solaio in LATERO CEMENTO 20+5 cm - Solaio Abitabile**

Permanenti Strutturali o Completamente Definiti

$G_{k1} = 280 \text{ Kg/mq} + \text{Peso Proprio Solaio}$

Sovraccarichi Permanenti Non Strutturali

$G_{k2} = 120 \text{ Kg/mq}$

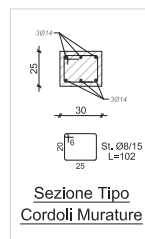
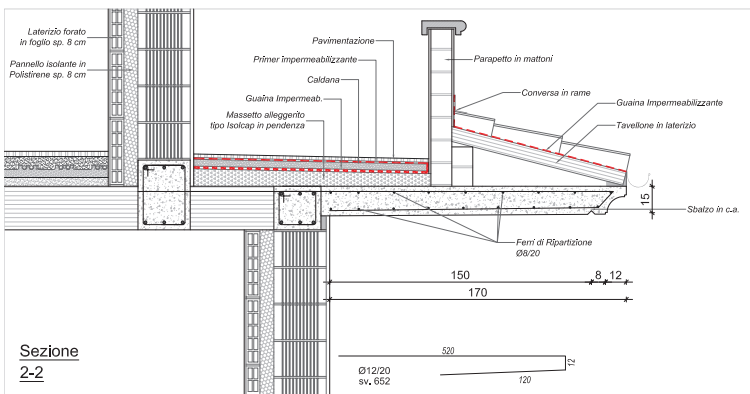
Sovraccarico Accidentale

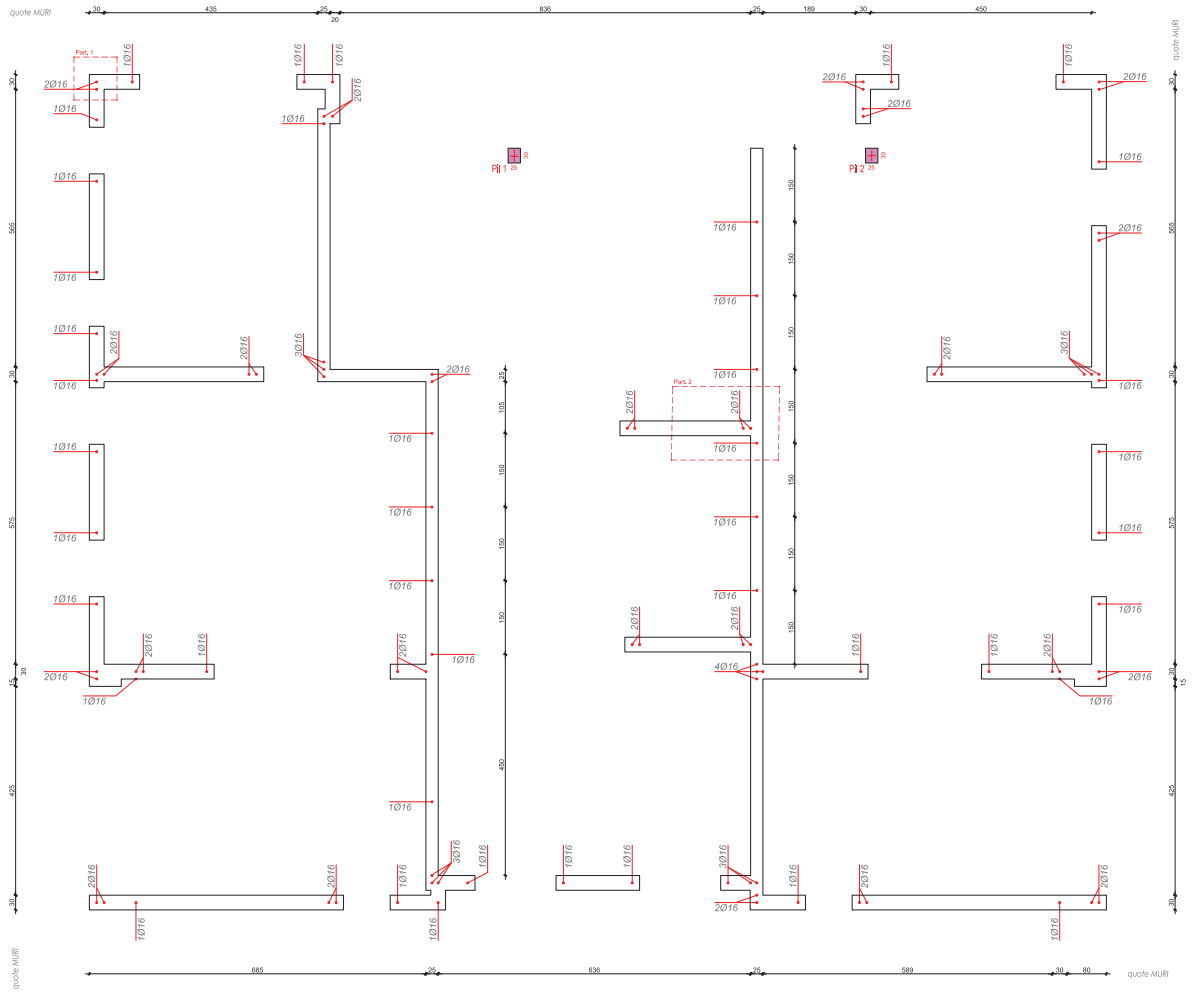
$Q_{k1} = 200 \text{ Kg/mq}$

Soletta spessore 5 cm

C 25/30 (Rck 300) - Rete Eletr. Ø6/20x20 FeB 44k

Figura 6  
Pianta del primo solaio (piano terra) e dettagli costruttivi (nodi solaio-parete).



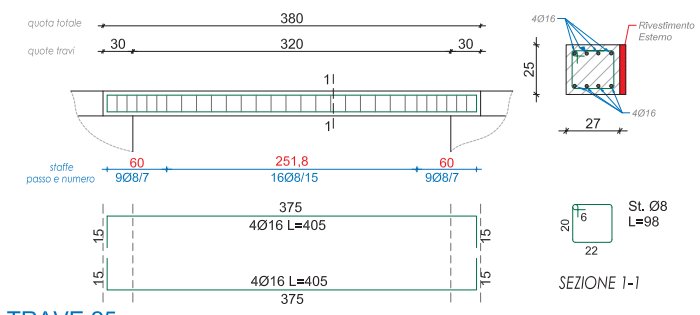
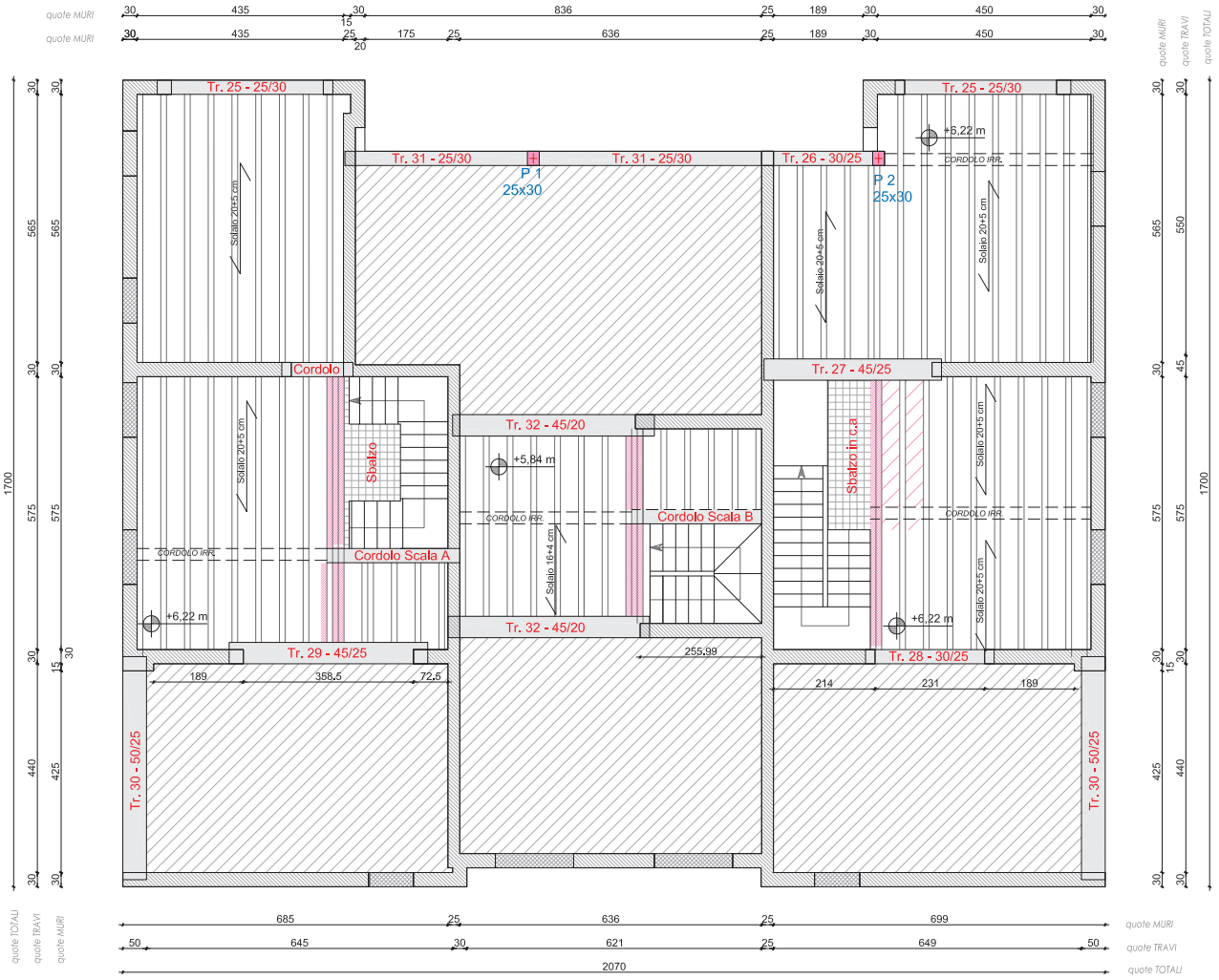


Pianta Muratura Armata Piano Terreno

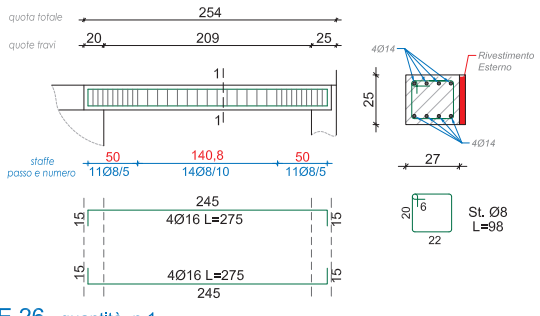
Figura 7  
Pianta degli elementi in elevazione portanti del primo piano (per i dettagli delle pareti in muratura armata si veda la precedente Figura 5).



Progettazione Sismica



TRAVE 25 - quantità: n.2



TRAVE 26 - quantità: n.1

Figura 8  
Pianta del secondo solaio (primo piano) e dettaglio delle armature di due travi di bordo (TR25 e TR26).

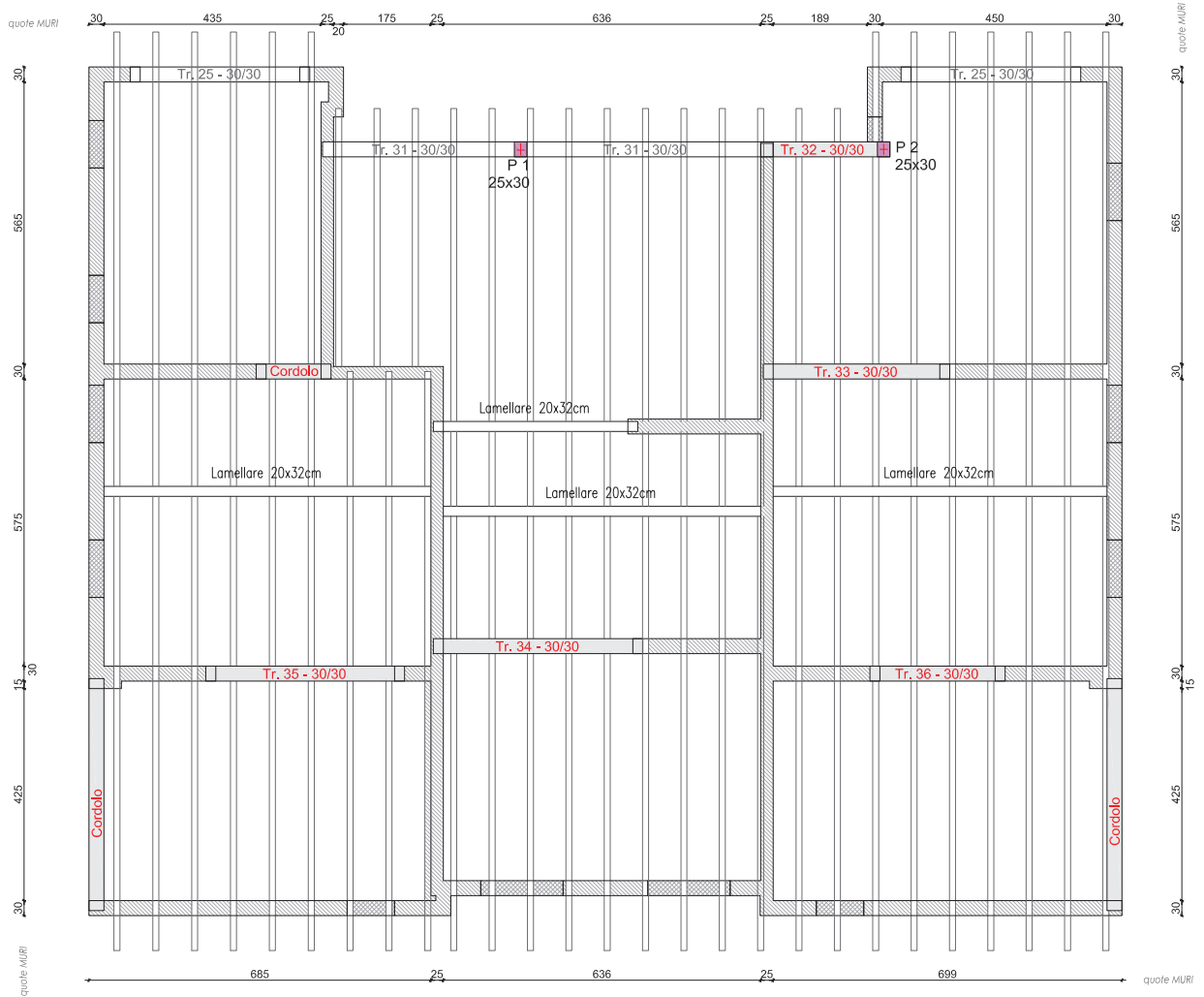
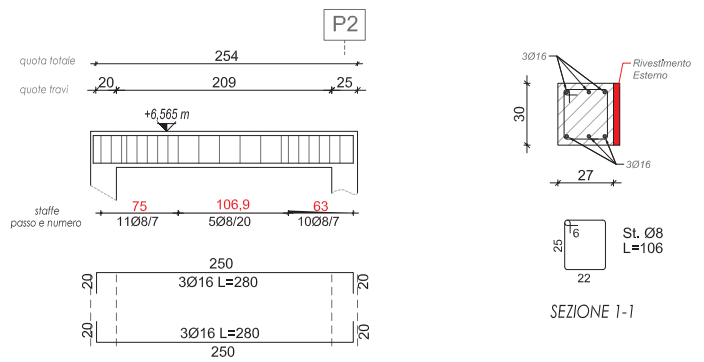
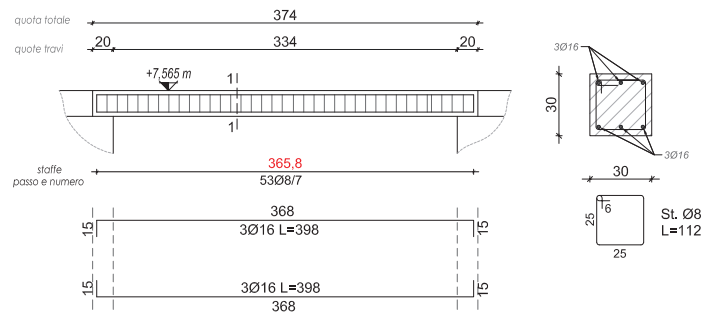


Figura 9  
Pianta della copertura in legno e dettaglio delle armature di una trave di bordo (TR32) e di una interna (TR33).



**TRAVE 32** quota di imposta +6,265 m - quantità: n.1



**TRAVE 33** quota di imposta +7,265 m - quantità: n.1



Tabella 1 - Parametri di Pericolosità Sismica

Stato limite	Tr	$\alpha_g$	$F_o$	$T_c^*$
Operativi (SLO)	30	0.037	2.575	0.247
Danno (SLD)	50	0.047	2.514	0.27
Salvag. Vita (SLV)	475	0.139	2.589	0.27
Collasso	975	0.188	2.541	0.276

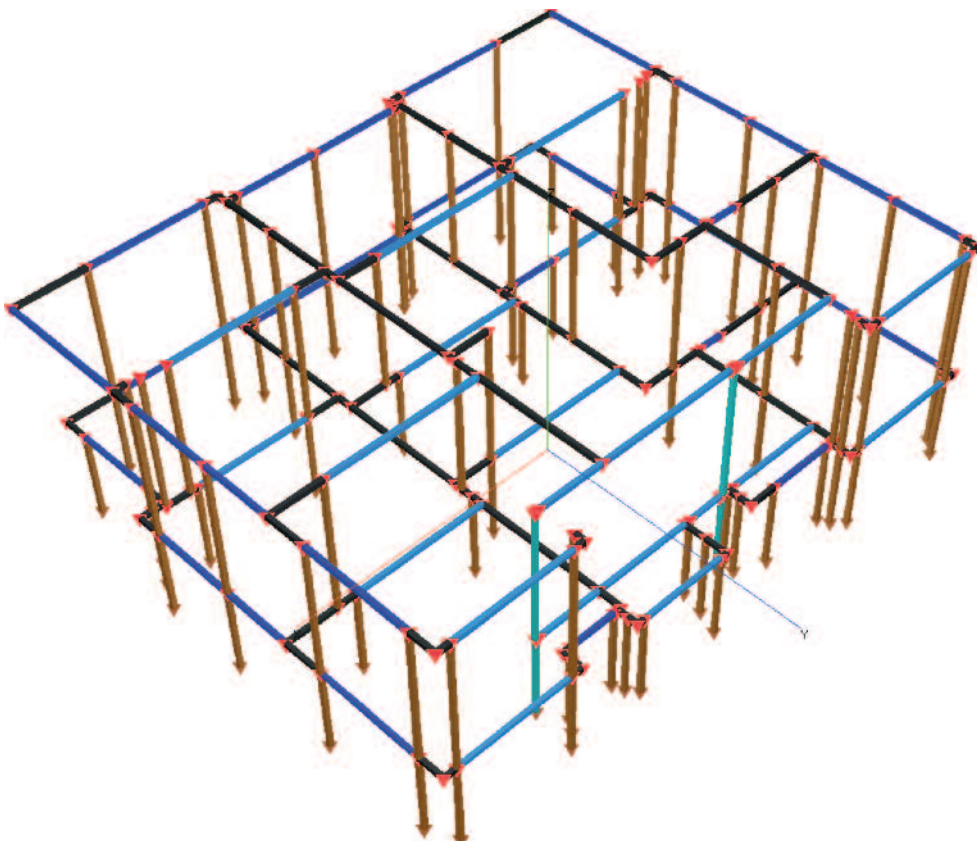
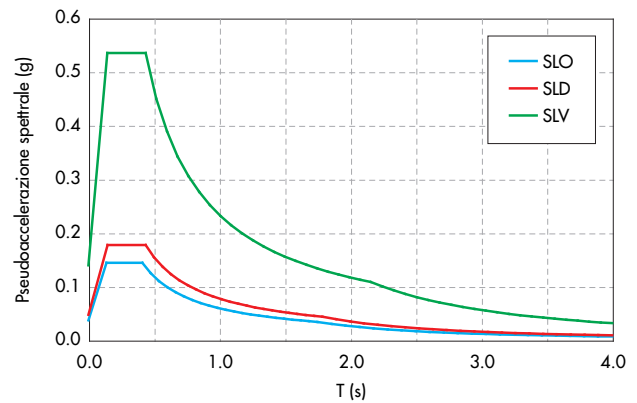
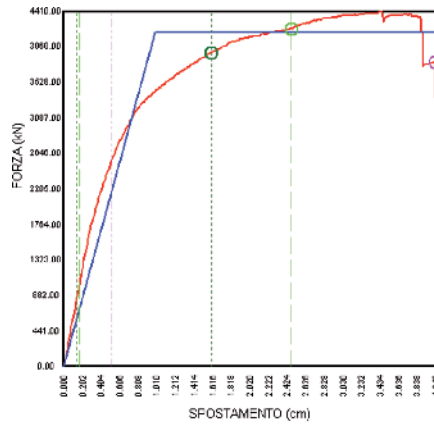


Figura 10  
a) coordinate geografiche del luogo di costruzione;  
b) riassunto dei parametri relativi alla strategia di progetto e verifica sismica (vita nominale, coefficiente d'uso, periodi di ritorno dell'azione sismica associati a ciascuno stato limite di riferimento).

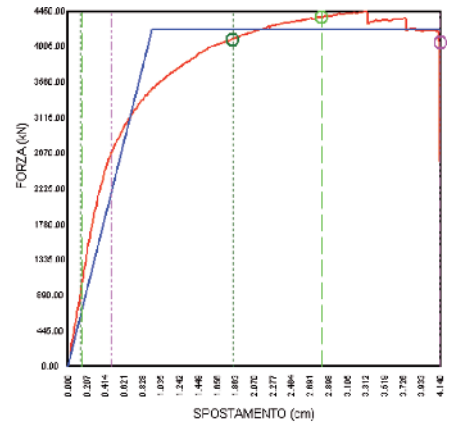
Figura 11  
a) parametri di pericolosità sismica del luogo di edificazione definiti dalla normativa vigente (NTC 08);  
b) spettri di progetto elastici al 5% di smorzamento relativi ai tre stati limite presi in considerazione: operatività (SLO), danno (SLD), salvaguardia della vita (SLV).

Figura 12  
Modello 3D a telaio equivalente dell'edificio, realizzato mediante macroelementi in uratura armata, pilastri in c.a., cordoli in c.a. ed ipotesi di orizzontamento rigido ai piani.

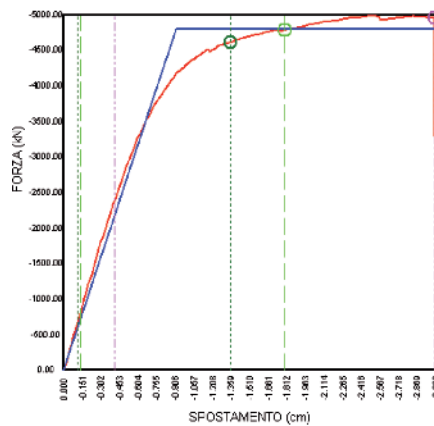
Figura 13  
Curve taglio alla base vs. spostamento in sommità determinate mediante analisi statica non lineare sul modello di Figura 12 con distribuzione di carico principale (diverse combinazioni fra sisma in direzione X ed eccentricità accidentale delle masse sismiche).



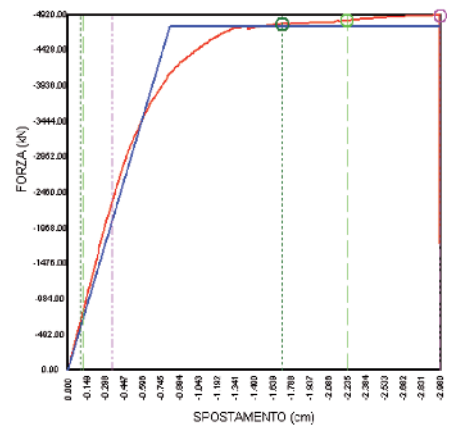
Sisma +X' ecc.>0 - Distribuzione principale



Sisma +X' ecc.<0 - Distribuzione principale

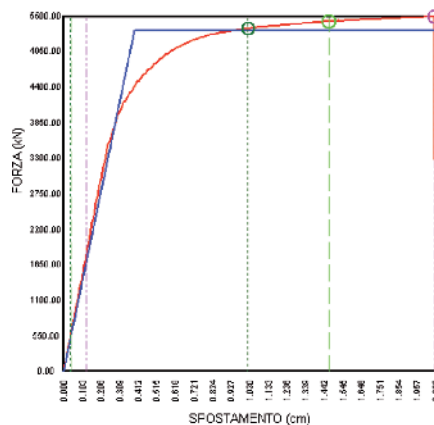


Sisma -X' ecc.>0 - Distribuzione principale

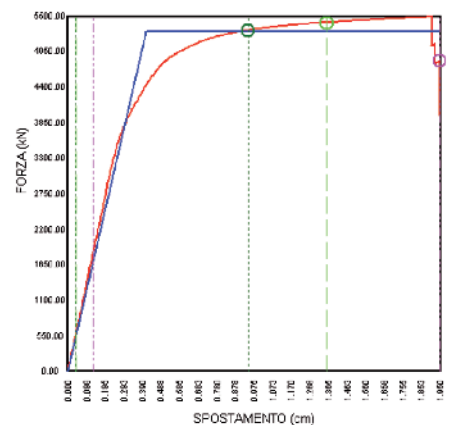


Sisma -X' ecc.<0 - Distribuzione principale

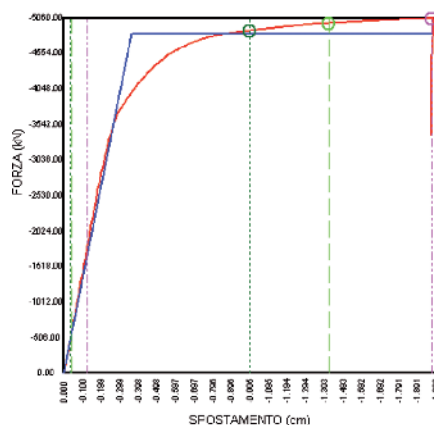
Figura 14  
Curve taglio alla base vs. spostamento in sommità determinate mediante analisi statica non lineare sul modello di Figura 12 con distribuzione di carico principale (diverse combinazioni fra sisma in direzione Y ed eccentricità accidentale delle masse sismiche).



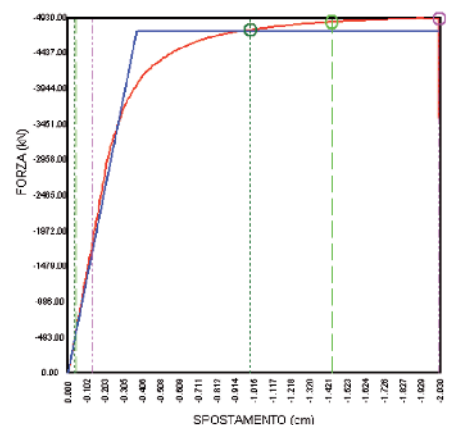
Sisma +Y' ecc.>0 - Distribuzione principale



Sisma +Y' ecc.<0 - Distribuzione principale



Sisma -Y' ecc.>0 - Distribuzione principale



Sisma -Y' ecc.<0 - Distribuzione principale



Figura 15  
Fasi realizzative del solaio  
relativo al primo piano.



Figura 16  
Fasi realizzative del solaio  
relativo al secondo piano.



Figura 17  
Viste dall'esterno  
dell'edificio in fase di  
realizzazione.

Figura 17  
Viste dall'esterno  
dell'edificio in fase di  
realizzazione.



Figura 18  
Viste dall'esterno  
dell'edificio a  
completamento dei lavori.

