

MICHELE VINCI

**Il calcolo delle sopraelevazioni in
muratura in funzione del livello di
conoscenza**

Collana
Calcolo di edifici in muratura
(www.edificiinmuratura.it)

Articolo 2 – Ottobre 2013

Bibliografia:

Michele Vinci – *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura* – Dario Flaccovio - 2013

Il calcolo delle sopraelevazioni in muratura in funzione del livello di conoscenza

Poter realizzare una sopraelevazione implica necessariamente raggiungere la condizione di adeguamento, cioè tutte le verifiche previste dalla norma devono essere soddisfatte. Per questo tipo di opere, la condizione di semplice miglioramento non può essere accettata. In molti casi, la condizione di adeguamento richiede interventi di consolidamento sulle strutture esistenti, con il conseguente aggravio di costi per i committenti. Oltre ai maggiori costi necessari per adeguare la struttura, si aggiungono le difficoltà di operare in edifici abitati o appartenenti ad altri proprietari.

Un modo per migliorare le condizioni iniziali, e quindi di conseguenza ridurre l'onere degli interventi nelle strutture esistenti, è quello di adottare un livello di conoscenza meno restrittivo. Per esempio, anziché calcolare la struttura con il livello di conoscenza LC1 si calcola con LC2. Sotto queste condizioni, i parametri di resistenza della muratura aumentano in quanto per le resistenze (f_m , τ_0) occorre assumere i valori medi anziché i valori minimi riportati nella Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009 e si assume come fattore di confidenza 1.2 anziché 1.35. In definitiva, i parametri di resistenza della muratura sono più alti nel caso di livello di conoscenza LC2 e quindi la struttura nel suo complesso presenta una resistenza maggiore. Come controindicazione, per raggiungere il livello di conoscenza LC2 occorre effettuare una prova distruttiva per ogni tipologia di materiale e bisogna analizzare visivamente tutti gli elementi della struttura. La norma richiede le prove sui materiali, solo ai fini della valutazione della tipologia di muratura, ma non per la valutazione numerica dei parametri meccanici (come detto sopra, per la definizione di questi ultimi sono sufficienti i dati forniti dalla Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009).

Ricordiamo velocemente quali sono le condizioni affinché sia raggiunto un determinato livello di conoscenza (nel nostro esempio citiamo solo LC1 ed LC2).

Livello di conoscenza LC1: si ritiene raggiunto quando si verificano le tre seguenti condizioni:

- Presenza di rilievo geometrico;
- “*Verifiche in-situ limitate*” sui dettagli costruttivi;
- “*Indagini in-situ limitate*” sulle proprietà dei materiali.

Livello di conoscenza LC2: si ritiene raggiunto quando si verificano le tre seguenti condizioni:

- Presenza di rilievo geometrico;
- “*Verifiche in-situ estese ed esaustive*” sui dettagli costruttivi;
- “*Indagini in-situ estese*” sulle proprietà dei materiali.

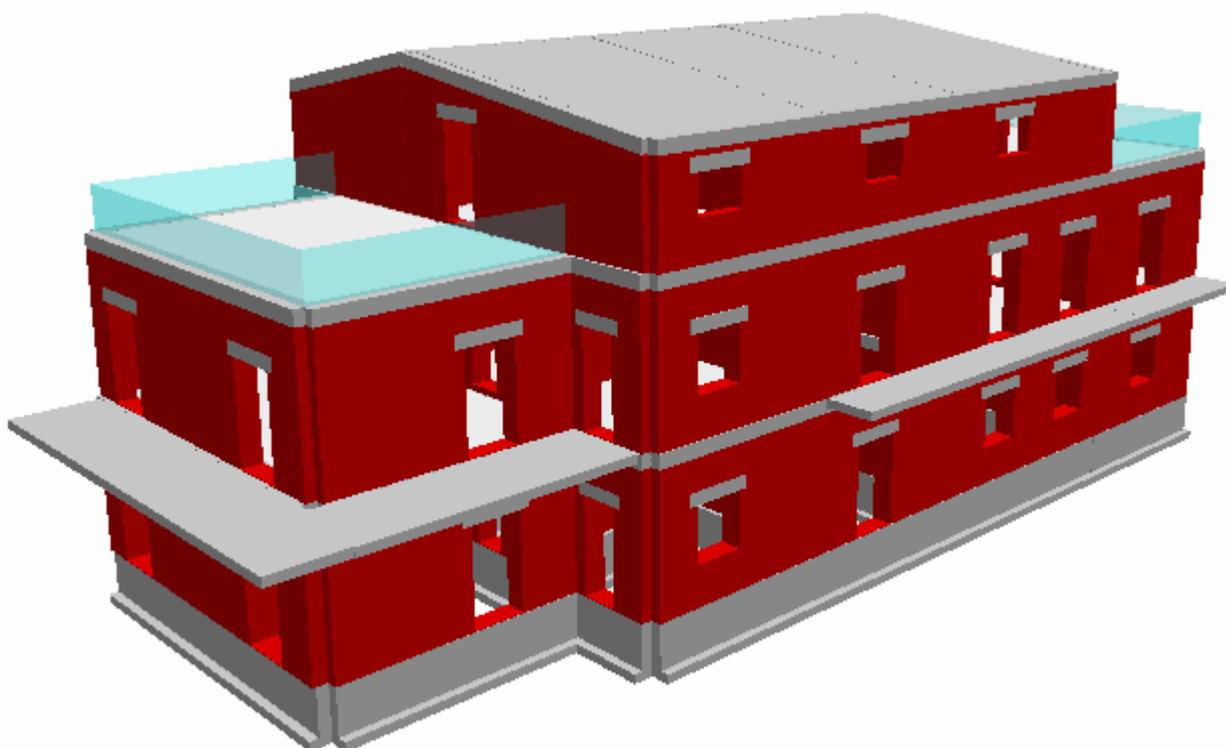
In definitiva, per raggiungere il livello di conoscenza LC2 occorre raggiungere la condizione di “*Verifiche in-situ estese ed esaustive*” sui dettagli costruttivi che implica che occorre fare delle indagini visive su tutti gli elementi strutturali e la condizione di “*Indagini in-situ estese*” sulla proprietà dei materiali che implica un’indagine visiva e sistematica su ogni elemento strutturale. Inoltre è richiesta una prova di carico (martinetti piatti) per ogni tipologia diversa di materiali (se la costruzione è composta da una sola tipologia di muratura, occorre effettuare una sola prova).

Raggiungere il livello di conoscenza LC2 consente di utilizzare parametri meccanici migliori e di conseguenza una risposta sismica meno restrittiva, consentendo in questo modo di risparmiare sulle opere di consolidamento.

Inoltre, i parametri meccanici della muratura si riferiscono ad un materiale di pessima qualità. Se la muratura presenta delle migliorie (malta buona, giunti sottili, ricorsi o listature, ecc), è possibile incrementarne la resistenza attraverso il coefficiente moltiplicativo riportato nella Tabella C8A.2.2 della Circolare 617/2009.

Esempio di calcolo

Data la struttura riportata nell'immagine successiva con i primi due piani esistenti ed il terzo di nuova costruzione, si procede al calcolo sia per livello di conoscenza LC1 che per livello di conoscenza LC2. Dell'esempio, in via indicativa, si riportano soltanto i risultati dell'analisi (per una trattazione più completa si rimanda a "Esempio 2" riportato nella sezione "Esempi di calcolo" sul sito www.edificiimuratura.it)

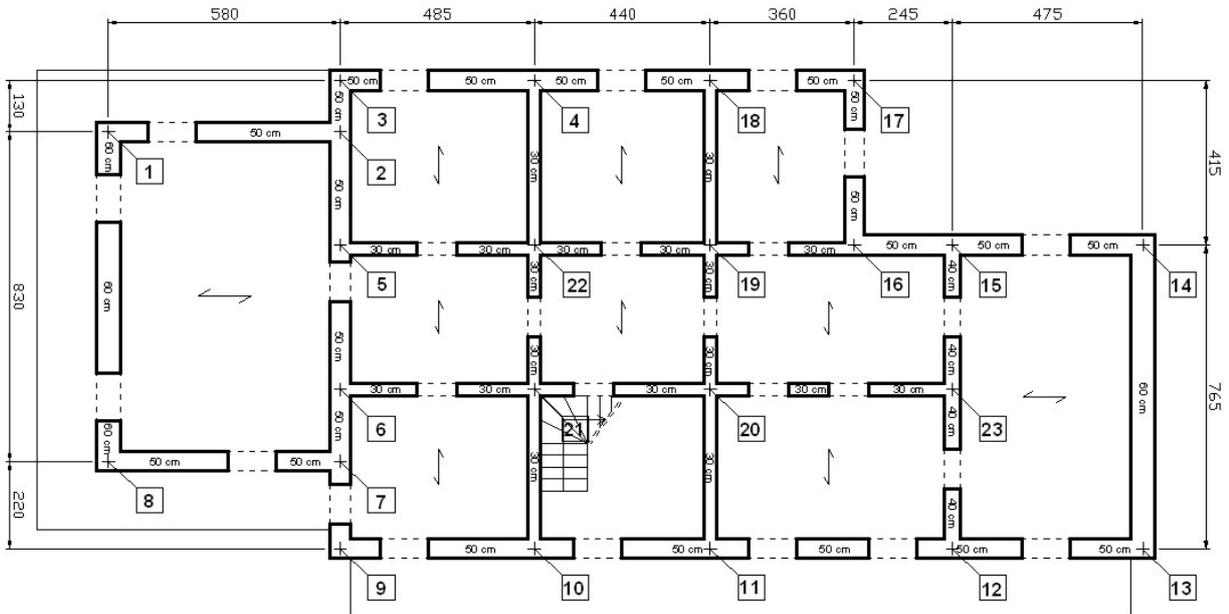


Dati

- Muratura esistente : mattoni pieni e malta di calce;
- Muratura di nuova costruzione : $f_{bk} = 80 \text{ daN/cm}^2$, malta M10;
- Longitudine : 16.0830;
- Latitudine : 38.4938;
- Suolo di fondazione : C;
- Categoria topografica : T1.

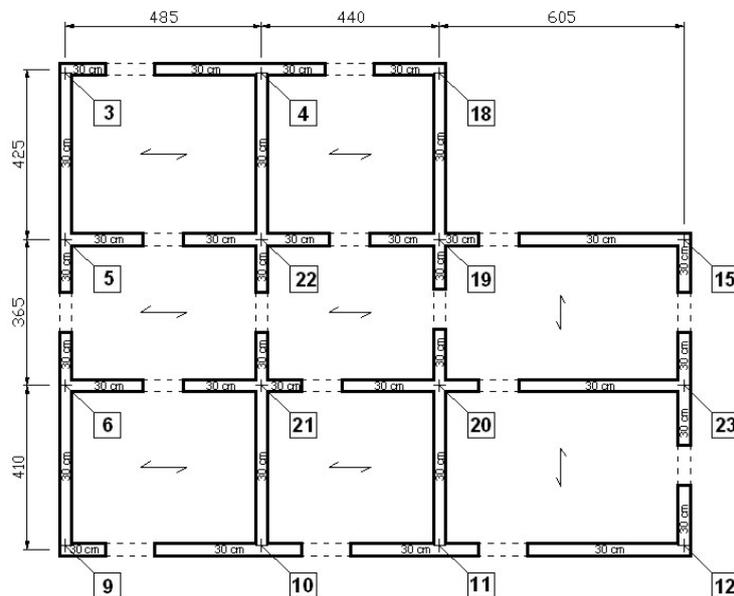
Piante piani esistenti

Piano 1 - Piano 2



Pianta piano di nuova costruzione

Piano 3



Scopo dell'esempio

L'esempio viene svolto, sia per livello di conoscenza LC1 che per LC2. L'obiettivo è quello di mettere in risalto i vantaggi che si possono ricavare aumentando il livello di conoscenza. In particolare, si possono limitare gli interventi di consolidamento nella parte esistente, riducendo i costi ed i disagi (ricordiamo che spesso i piani esistenti sono abitati) per i committenti. Per questo ci si limita a riportare soltanto i risultati finali dell'analisi con il corrispondente esito di verifica.

Risultati per LC1

Poiché l'edificio è realizzato con muratura in mattoni pieni e malta di calce (vedi Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009) ed il livello di conoscenza assunto per ipotesi è LC1, si ricava che le resistenze (f_m , τ_0) del materiale si ottengono dai valori minimi riportati nella suddetta tabella, mentre i moduli elastici (E , G) si ottengono dai valori medi. Inoltre le resistenze devono essere ulteriormente divise per il fattore di confidenza che per LC1 vale 1.35. Riassumendo, nella tabella successiva si riportano i parametri che definiscono la muratura.

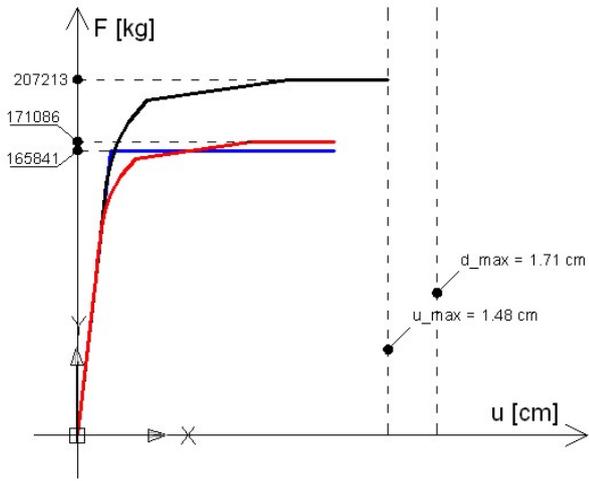
Tipologia di muratura	f_m [daN/cm ²]	τ_0 [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ [daN/m ³]
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	17.78	0.44	15000	5000	1800

Per il piano di sopraelevazione valgono le prescrizioni previste per i materiali di nuova costruzione. I blocchi utilizzati hanno spessore di 30 cm, sono di tipo semipieno con foratura $\varphi < 45\%$, idonei all'impiego anche per murature da realizzare in zona sismica, da mettere in opera con i fori verticali. Il peso specifico può essere valutato pari a 1300 daN/m³. La resistenza caratteristica del blocco è $f_{bk} = 8.0$ N/mm². Si assume una malta M10. In funzione di quanto prescritto dalla normativa (punto 11.10.3.1.2 del D.M. 14/01/2009) si ottengono i parametri meccanici riportati nella tabella successiva:

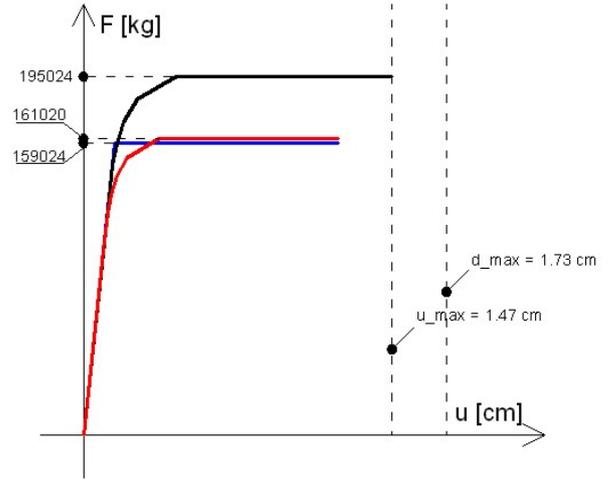
Tipologia di muratura	f_k [daN/cm ²]	f_{vko} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ [daN/m ³]	Spess. [cm]
Blocco semipieno	46.6	2.0	46600	18640	1300	30

Realizzato il piano di nuova costruzione, si analizza la struttura secondo l'analisi statica non lineare. Nella successiva tabella e nelle successive curve si riassumono i risultati dell'analisi (le combinazioni di carico evidenziate con il colore verde sono "verificate", mentre quelle evidenziate con il colore rosso sono "non verificate").

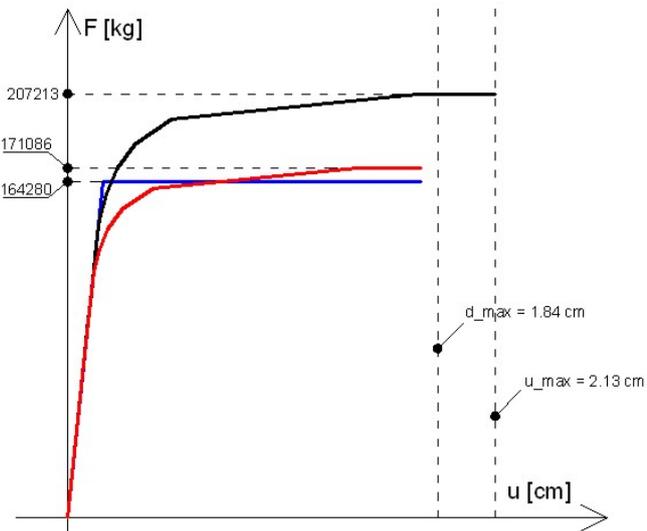
Combinazioni	u_{max} [cm]	d_{max} [cm]	S	Esito
Sisma X(+) – Profilo di carico: masse	1.4794	1.7123	0.86	NV
Sisma X(-) – Profilo di carico: masse	1.4687	1.7268	0.85	NV
Sisma X(+) – Profilo di carico: altezze	2.1303	1.8437	1.16	V
Sisma X(-) – Profilo di carico: altezze	1.6328	1.8577	0.88	NV
Sisma Y(+) – Profilo di carico: masse	1.5778	1.7163	0.92	NV
Sisma Y(-) – Profilo di carico: masse	1.4766	1.7287	0.85	NV
Sisma Y(+) – Profilo di carico: altezze	2.5572	1.8495	1.38	V
Sisma Y(-) – Profilo di carico: altezze	1.6534	1.8610	0.89	NV



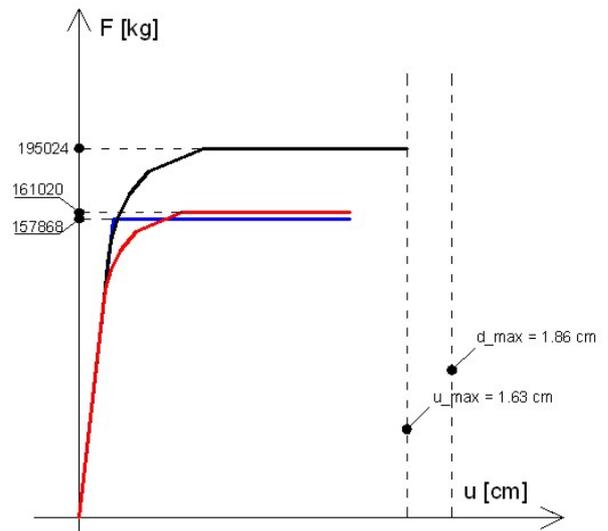
Sisma X(+); Profilo di carico: proporzionale masse



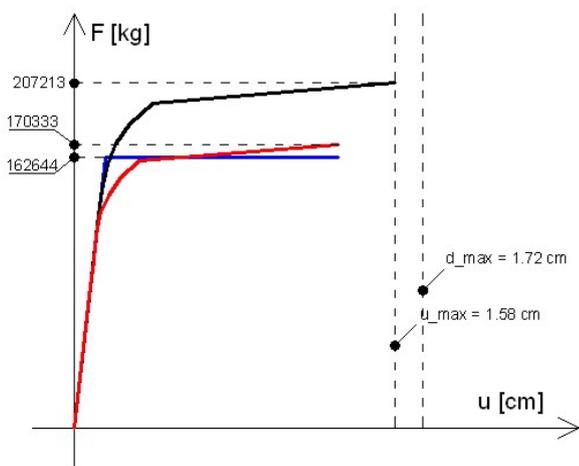
Sisma X(-); Profilo di carico: proporzionale masse



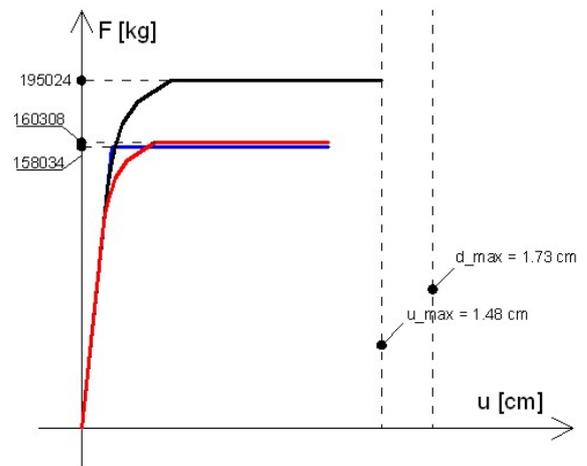
Sisma X(+); Profilo di carico: proporzionale altezze



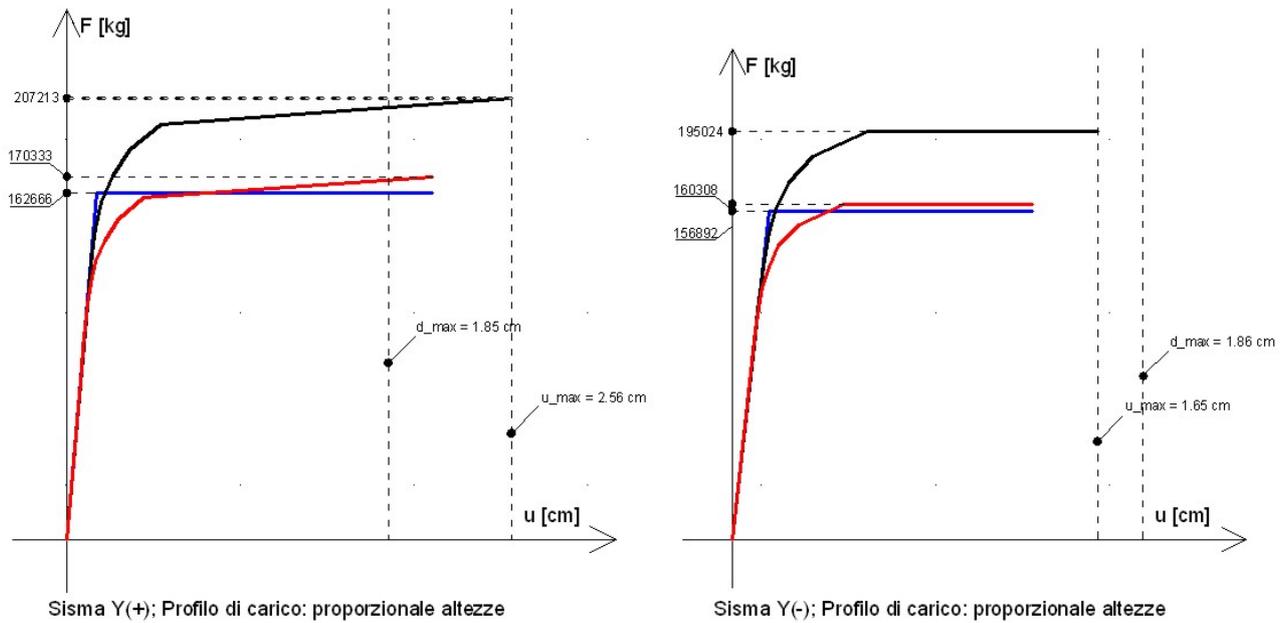
Sisma X(-); Profilo di carico: proporzionale altezze



Sisma Y(+); Profilo di carico: proporzionale masse

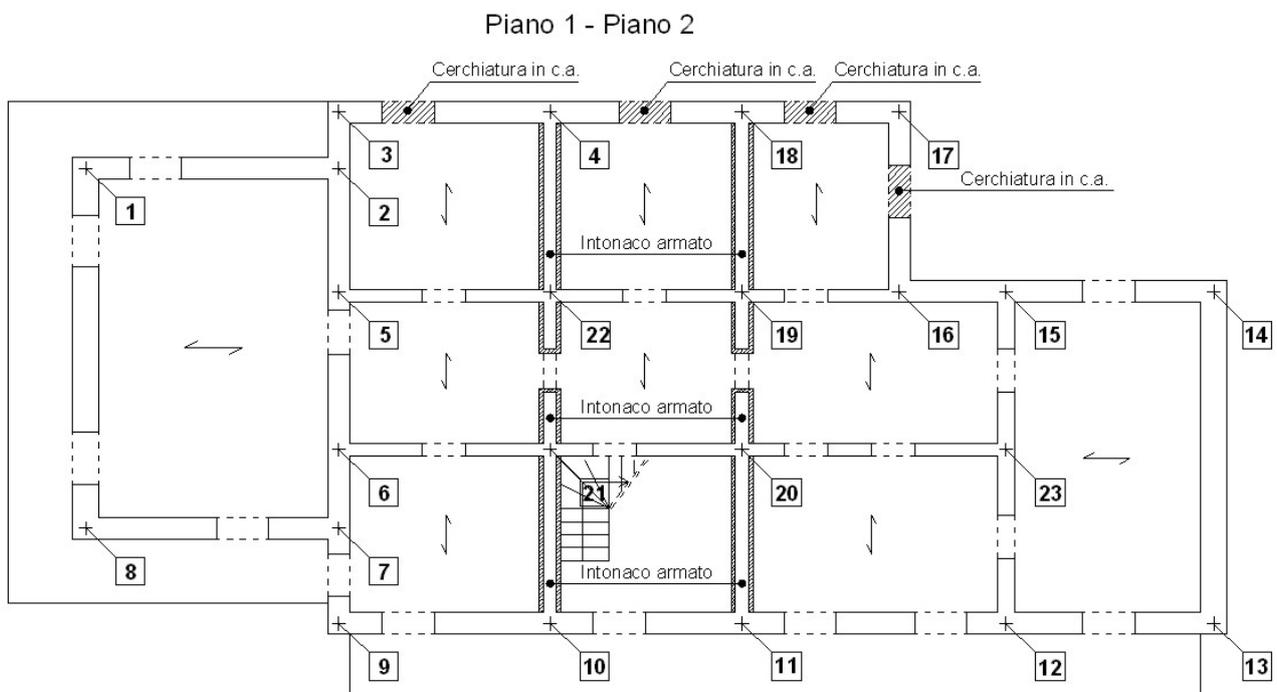


Sisma Y(-); Profilo di carico: proporzionale masse

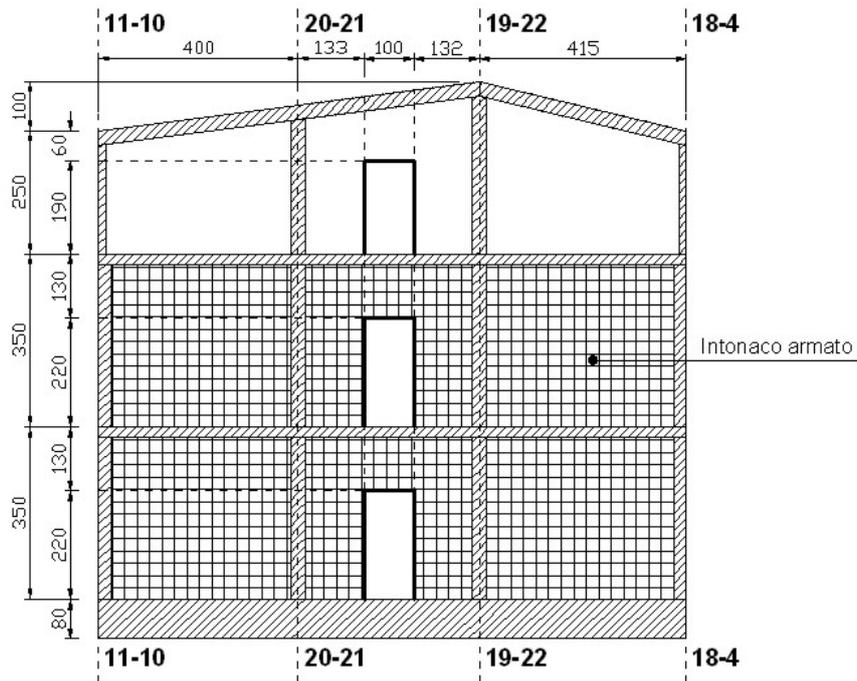


Dai risultati si evince che l'esito della verifica è negativo (non verificano tutte le combinazioni di carico per le quali si ha che la capacità di spostamento (u_{max}) è inferiore alla domanda di spostamento (d_{max}).

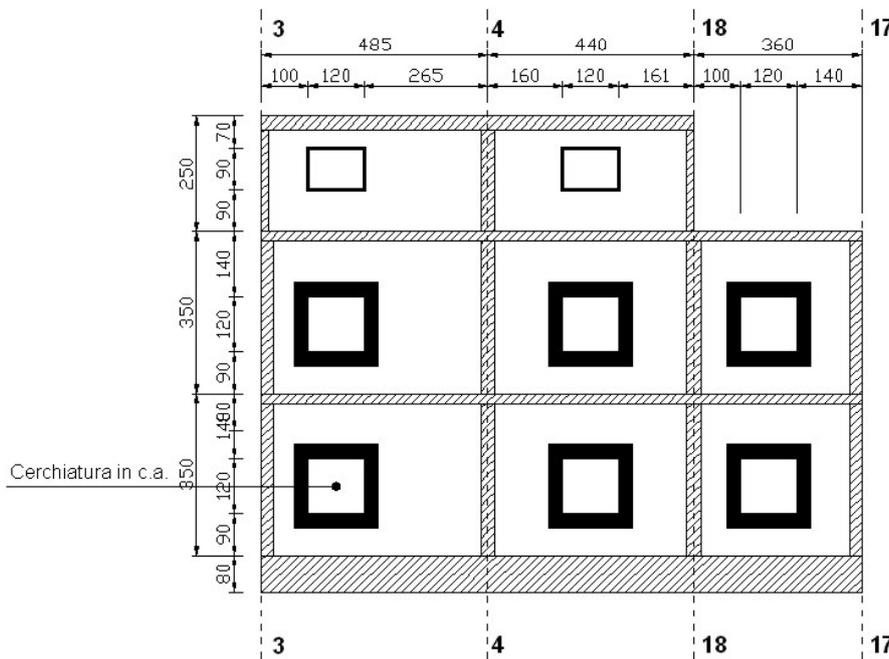
Per poter realizzare la sopraelevazione occorre aumentare la resistenza della struttura, per cui è necessario intervenire sull'esistente. Si interviene con intonaco armato e cerchiature su alcune pareti in direzione y e con cerchiature su alcune pareti in direzione x su entrambi i piani esistenti (vedi elaborati successivi).



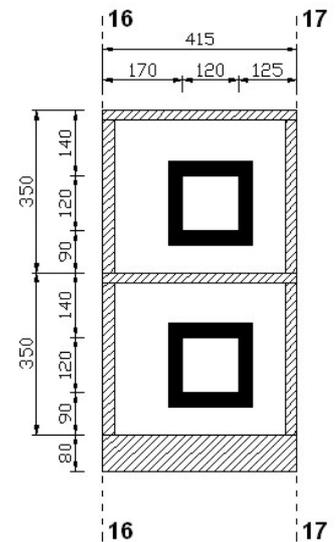
Parete 10 - 21 - 22 - 4 Parete 11 - 20 - 19 - 18



Parete 3 - 4 - 18 - 17

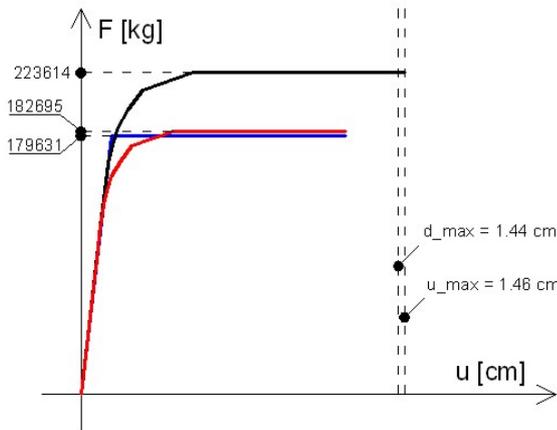


Parete 16 - 17

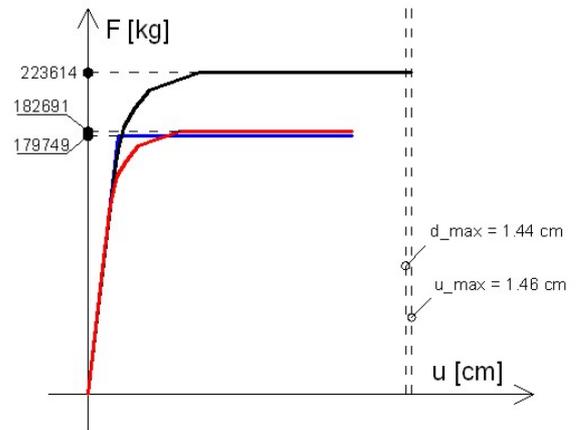


Rielaborando la struttura con i consolidamenti applicati, si ottengono i risultati di seguito riportati (tabella e grafici).

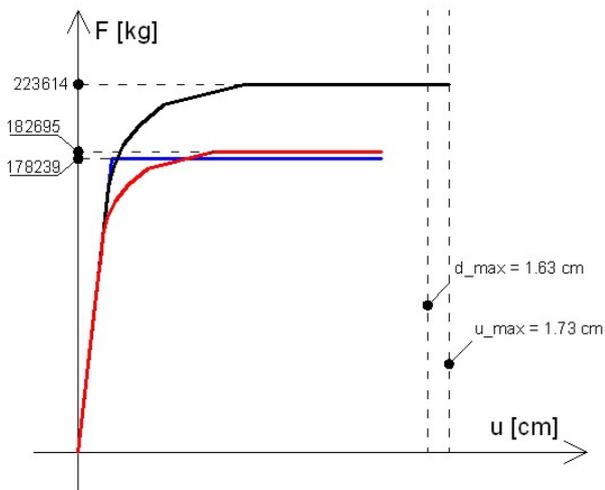
Combinazioni	u_{max} [cm]	d_{max} [cm]	S	Esito
Sisma X(+) – Profilo di carico: masse	1.4635	1.4365	1.02	V
Sisma X(-) – Profilo di carico: masse	1.4636	1.4364	1.02	V
Sisma X(+) – Profilo di carico: altezze	1.7294	1.6292	1.06	V
Sisma X(-) – Profilo di carico: altezze	1.6862	1.6293	1.03	V
Sisma Y(+) – Profilo di carico: masse	1.5940	1.3540	1.18	V
Sisma Y(-) – Profilo di carico: masse	1.5658	1.3761	1.14	V
Sisma Y(+) – Profilo di carico: altezze	2.4474	1.5553	1.57	V
Sisma Y(-) – Profilo di carico: altezze	1.8862	1.5625	1.21	V



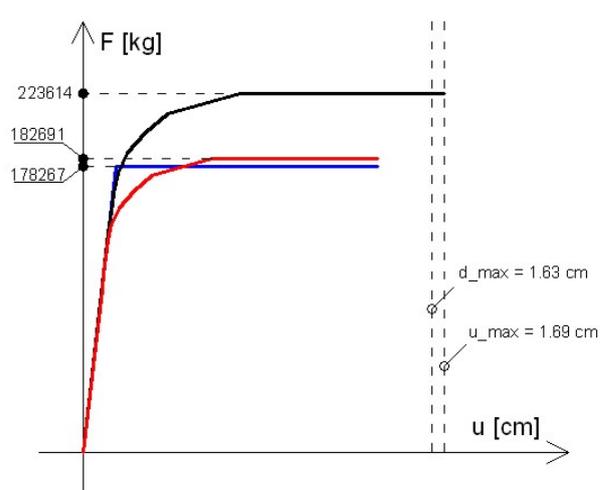
Sisma X(+); Profilo di carico: proporzionale masse



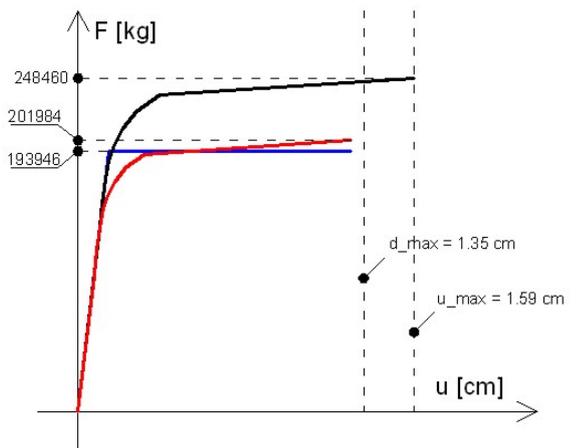
Sisma X(-); Profilo di carico: proporzionale masse



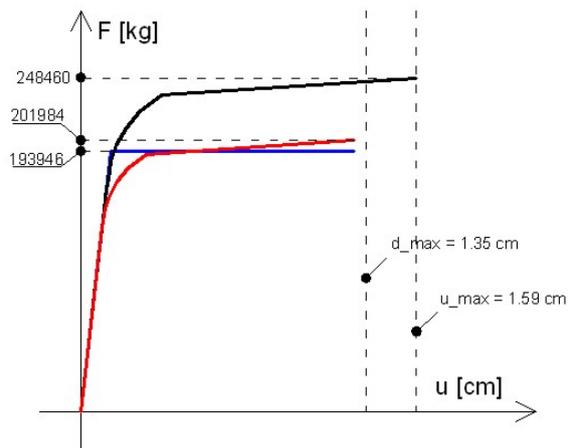
Sisma X(+); Profilo di carico: proporzionale altezze



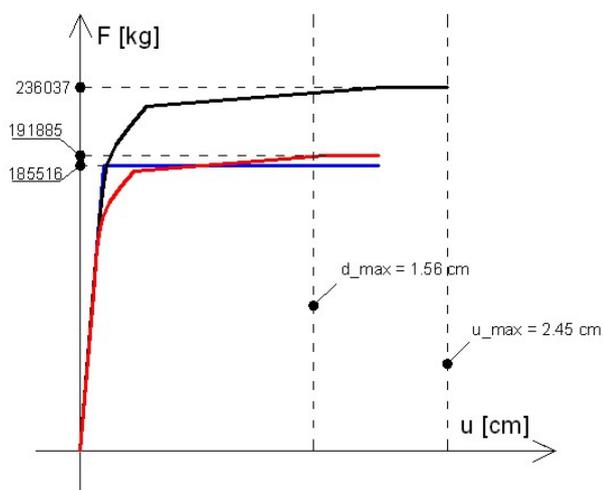
Sisma X(-); Profilo di carico: proporzionale altezze



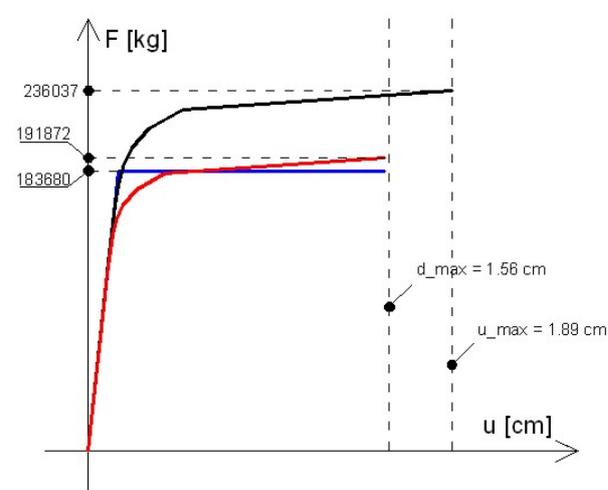
Sisma Y(+); Profilo di carico: proporzionale masse



Sisma Y(-); Profilo di carico: proporzionale masse



Sisma Y(+); Profilo di carico: proporzionale altezze



Sisma Y(-); Profilo di carico: proporzionale altezze

In questo caso l'esito della verifica è positivo (vedi tabella precedente). Consolidando la struttura come riportato sopra è possibile realizzare il piano di sopraelevazione. Ovviamente, il consolidamento implica costi aggiuntivi importanti per i committenti.

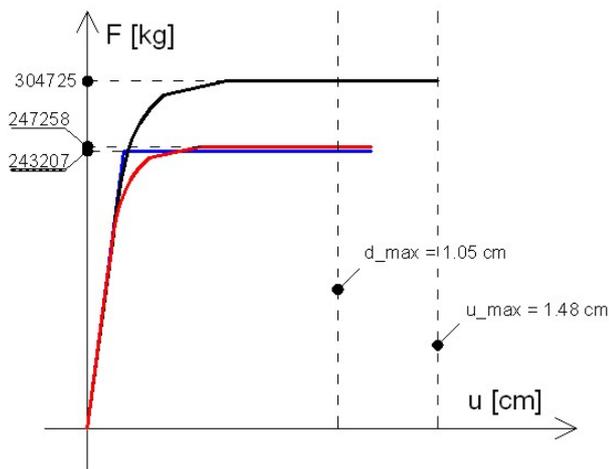
Risultati per LC2

Poiché il livello di conoscenza assunto per ipotesi è LC2, si ricava che sia le resistenze del materiale che i moduli elastici si ottengono dai valori medi riportati in tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009. In questo caso le resistenze devono essere divise per il fattore di confidenza 1.20. Oltre alle migliorie sopra riportate, è possibile fare delle considerazioni sulla malta. Se quest'ultima risulta essere di buona caratteristica (dimostrabile anche con prove di carico), attraverso la tabella C8A.2.2 della Circolare 617/2009, è possibile moltiplicare sia le resistenze che i moduli elastici per il coefficiente moltiplicativo 1.5 (valido per la tipologia di muratura "mattoni pieni e malta di calce"). Riassumendo, nella tabella successiva si riportano i parametri che definiscono la muratura.

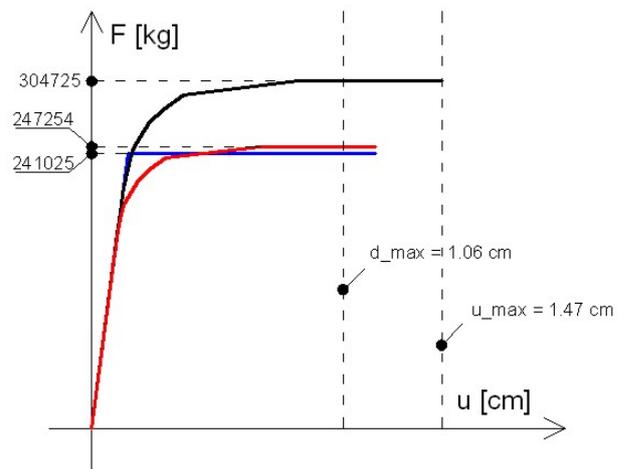
Tipologia di muratura	f_m [daN/cm ²]	τ_0 [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	Peso [daN/m ³]
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	40.00	0.95	22500	7500	1800

Si analizza la struttura secondo l'analisi statica non lineare. Nella successiva tabella e nei successivi grafici si riassumono i risultati dell'analisi.

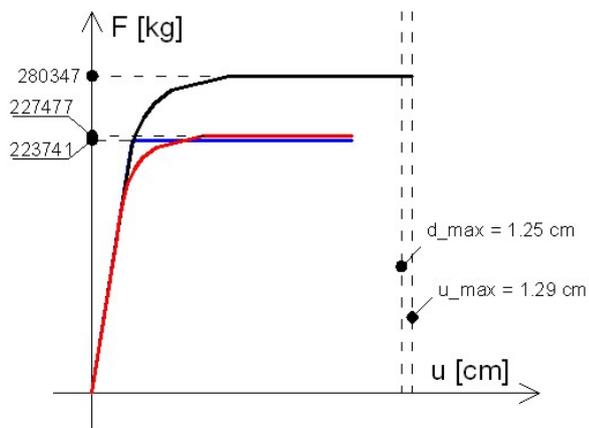
	u_{max} [cm]	d_{max} [cm]	S	Esito
Sisma X(+) – Profilo di carico: masse	1.4753	1.0547	1.40	V
Sisma X(-) – Profilo di carico: masse	1.4747	1.0593	1.39	V
Sisma X(+) – Profilo di carico: altezze	1.2937	1.2495	1.04	V
Sisma X(-) – Profilo di carico: altezze	1.2936	1.2504	1.03	V
Sisma Y(+) – Profilo di carico: masse	1.4839	1.0530	1.41	V
Sisma Y(-) – Profilo di carico: masse	1.4817	1.0556	1.40	V
Sisma Y(+) – Profilo di carico: altezze	1.2951	1.2456	1.04	V
Sisma Y(-) – Profilo di carico: altezze	1.2955	1.2466	1.04	V



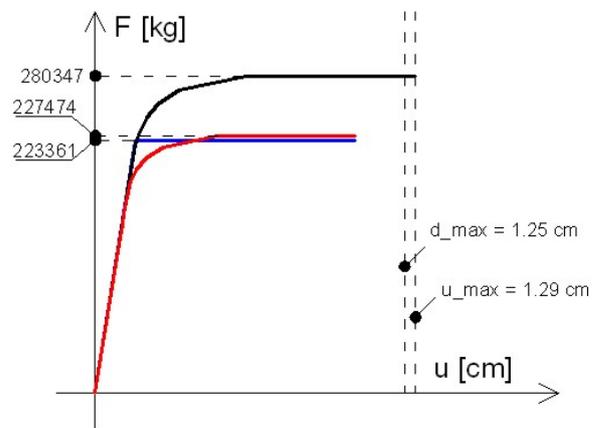
Sisma X(+); Profilo di carico: proporzionale masse



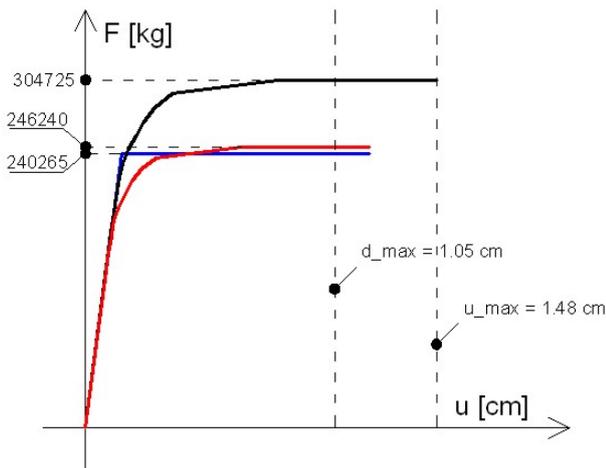
Sisma X(-); Profilo di carico: proporzionale masse



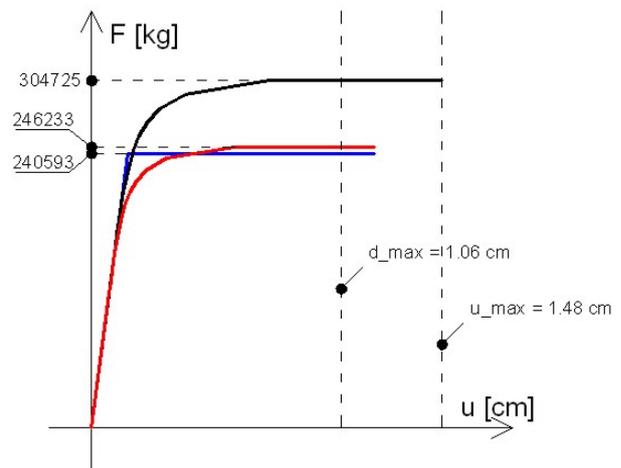
Sisma X(+); Profilo di carico: proporzionale altezze



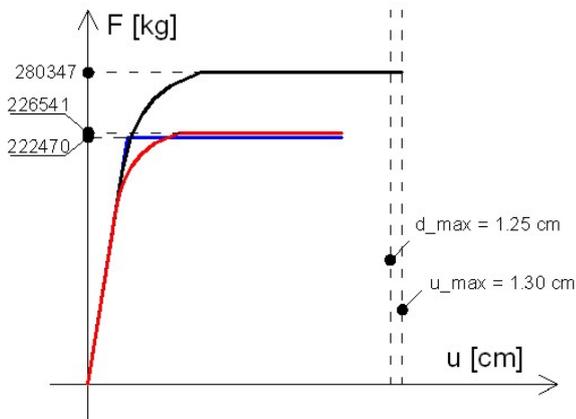
Sisma X(-); Profilo di carico: proporzionale altezze



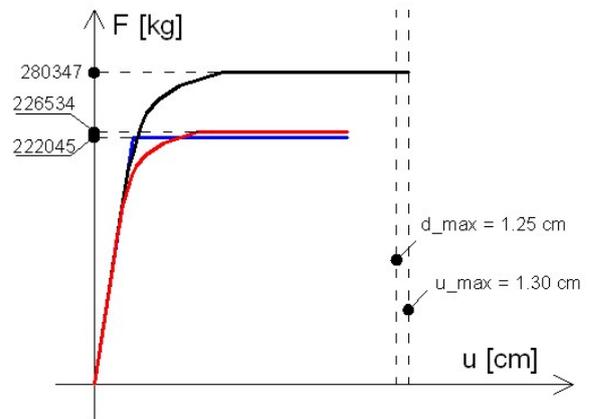
Sisma Y(+); Profilo di carico: proporzionale masse



Sisma Y(-); Profilo di carico: proporzionale masse



Sisma Y(+); Profilo di carico: proporzionale altezze



Sisma Y(-); Profilo di carico: proporzionale altezze

Leggendo i risultati si deduce che l'analisi da esito positivo (vedi combinazioni nella tabella precedente – tutte evidenziate dal colore verde).

A differenza del calcolo eseguito con LC1, non è richiesto il consolidamento della struttura esistente, con notevole risparmio per la committenza. Aumentando il livello di conoscenza (da LC1 a LC2), migliorano i parametri meccanici di partenza e quindi si riesce a raggiungere la piena verifica senza dover intervenire sulla parte esistente di struttura.