

Edifici in muratura

Esempio di edificio
in Castellammare di Stabia

Catania, 21 aprile 2004

Pietro Lenza

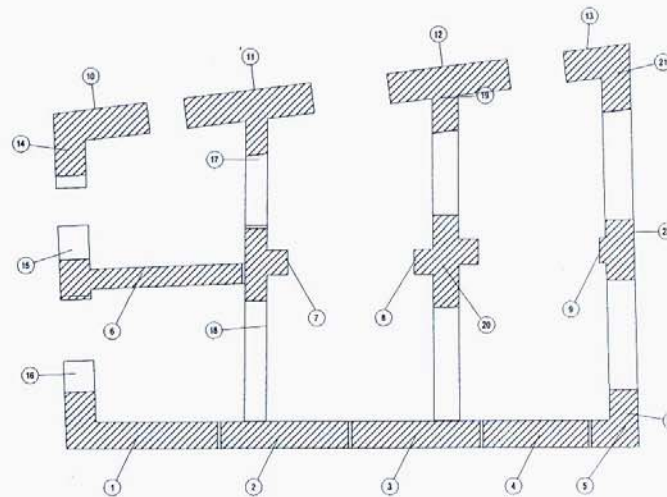
DAPS, Università di Napoli Federico II

6 Piani

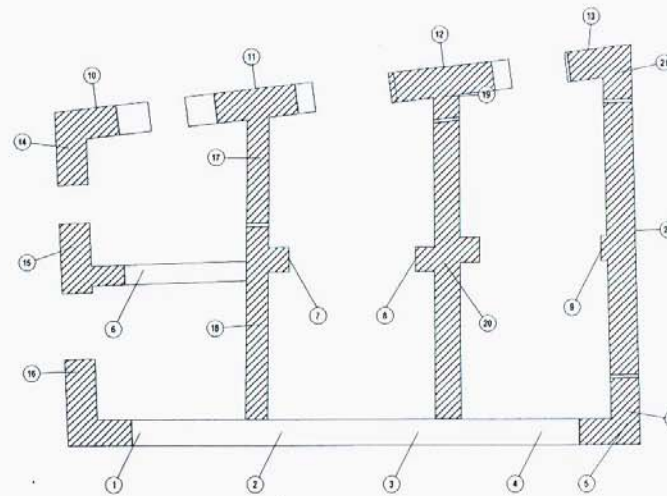
3 pareti // x

4 pareti // y

Spessore muri:
40 – 80 cm



Pianta Piano Terra



Vengono confermati i Due livelli di intervento:

- Adeguamento
- miglioramento

Come valutare la vulnerabilità sismica in caso
Di interventi di miglioramento?

a) Se non è possibile realizzare l'impalcato rigido:

evitare il collasso delle pareti fuori del piano
mediante catene o altri elementi di collegamento

calcolare la parete considerando le masse di
competenza sulla base di considerazioni geometriche

b) Se manca la fascia di piano resistente

la parete si trasforma in un sistema di mensole

11 EDIFICI ESISTENTI

11.1 Generalità

Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione per gli aspetti seguenti:

- Il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione.
- Il progetto può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione non immediatamente visibili.

Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati o di altre azioni accidentali i cui effetti non sono manifesti. Di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione. Ciò comporta l'impiego di coefficienti di sicurezza parziali adeguatamente modificati, come pure metodi di analisi e di verifica appropriati alla completezza e all'affidabilità dell'informazione disponibile.

È fatto obbligo eseguire valutazioni di sicurezza sismica e di effettuare interventi di adeguamento, in accordo con le presenti norme, qualora ne sia verificata la necessità, a chiunque intenda:

- a) sopraelevare o ampliare l'edificio (s'intende per ampliamento la sopraelevazione di parti dell'edificio di altezza inferiore a quella massima dell'edificio stesso: in tal caso non sussiste obbligo del rispetto delle prescrizioni di cui al punto 4.2)
- b) apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, momenti dei carichi originali (permanenti e accidentali) superiori al 25%;
- c) effettuare interventi strutturali volti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente;
- d) effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche, rinnovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicano sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso.

I.e. sopraelevazioni nonché gli interventi che comportano un aumento del numero di piani sono ammissibili solamente ove siano compatibili con le larghezze delle strade in cui prospettano; è altresì ammissibile una variazione dell'altezza, senza il rispetto delle norme di cui al punto 4.2, qualora sia necessaria per l'abitabilità degli ambienti, a norma dei regolamenti edilizi, sempre che resti invariato il numero dei piani.

Qualora si intenda effettuare interventi di tipo strutturale su singoli elementi di fabbrica oppure interventi di miglioramento, intendendo con essi l'esecuzione di un complesso di opere sufficienti a far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, è consentito procedere senza dar luogo alle analisi e verifiche di cui al presente capitolo, a condizione che si dimostri che l'insieme delle opere previste è comunque tale da far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche.

È consentita alle Regioni, tenuto conto della specificità delle tipologie costruttive del proprio territorio, consentire un miglioramento combinato della vulnerabilità, riducendo i livelli di protezione sismica e quindi l'entità delle azioni sismiche da considerare per i tre stati limite sopra definiti.

Per gli edifici di speciale importanza artistica, di cui all'art. 16 della legge 2 febbraio 1974, n. 64, è consentito derogare da quanto prescritto nelle presenti norme, in quanto incompatibile con le esigenze di tutela e di conservazione del bene culturale. In tal caso però, è richiesto di calcolare i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia strutturale dell'edificio, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento.

Edificio in Castellammare di Stabia (NA)
(zona sismica 2 $a_g = 0.25 g$)

$\gamma_1 = 1$ (coefficiente di importanza sismica)
mureture di tufo (impalcanti rigidi)

Pieni 6 Superficie $\sim 190 \text{ m}^2$
 $H = 23.50$ $\Delta h = 3.90 \text{ m}$ (intepieno medio)

$$W \approx 4.6 \text{ kN m}^3 \text{ (vuoto} \times \text{pieno)}$$

$$W_t \approx 21'080 \text{ kN}$$

$$T_1 = 0.05 \cdot 23.50^{0.75} = 0.53 \text{ sec}$$

Edificio regolare in pianta ed in altezza
E' applicabile l'analisi statica (?)

Determinazione del coefficiente $[F_b]$ alla base

a) D.M. 96 ($E=1$)

$$F_b = \frac{S-2}{100} W_t \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 = 0.07 \cdot 21'080 \cdot 4 = 5900 \text{ kN}$$

b) Ordinanza 3274 suolo A

$$T_c < T_1 < T_0 \quad S_d(T_1) = a_g S \frac{2.5}{9} \left(\frac{T_c}{T_1} \right) = 0.31 g; \quad S=1 \quad T_c = 0.4 \text{ sec}$$

$$F_b = S_d(T_1) \cdot \lambda \cdot W_t = 0.31 \times 0.85 \times 21'080 = 5554 \text{ kN}$$

c) Ordinanza 3274 suolo B

$$T_c < T_1 < T_0 \quad S_d(T_1) = a_g S \frac{2.5}{9} \left(\frac{T_c}{T_1} \right) = 0.49 g; \quad S=1.25 \quad T_c = 0.5 \text{ sec}$$

$$F_b = S_d(T_1) \cdot \lambda \cdot W_t = 0.49 \times 0.85 \times 21'080 = 8780 \text{ kN}$$

Calcolo delle Azioni Orizzontali

D.M. 96 $E=1$

Livello Numero	Peso Sismico	Altezza h [m]	W*h	γ	F [t]	Xg	Yg
VI	189,3885	23,50	4450,6297	0,1676	103,1378	2,4158	5,7200
V	356,5844	19,32	6889,2104	0,2595	159,6489	2,6255	5,7917
IV	388,7148	15,19	5904,5779	0,2224	136,8313	2,5763	5,7699
III	413,9407	11,06	4578,1844	0,1724	106,0938	2,4872	5,7519
II	421,5605	7,04	2967,7860	0,1118	68,7748	2,5505	5,7636
I	427,2272	4,12	1760,1762	0,0663	40,7899	2,1569	5,5335
			2197,4162				
				26550,5646	1,0000	615,2765 t.	

Forza Orizzontale

615,2765 t.

$$F_b = 615 \text{ t}$$

Valutazione dei pesi sismici [W]

Ordinanza 3274 [SLU]

$$G_k + \sum (\psi_{Ei} Q_{ki})$$

$$\psi_{Ei} = \psi_{zi} \cdot \varphi \quad \begin{array}{l} \psi_{zi} = 0.30 \\ \varphi = 0.50 \text{ (1.0 in copertura)} \end{array}$$

Valutazione dei carichi verticali da
sommare alle azioni sismiche [SLU]

$$\underbrace{\gamma_1 E}_{\text{azioni sismiche}} + \underbrace{G_k + \sum \psi_{zi} Q_{ki}}_{\text{carichi gravitazionali}}$$

$$T_1 = C_1 * H^{\frac{3}{4}}$$

$$F_i = S_d(T_1) * W * \lambda * \frac{z_i * W_i}{\sum z_j * W_j}$$

$$T_1 = 0,05 * 23,5 * 0,75 = 0,5337$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left(\frac{T_c}{T} \right) \Rightarrow S_d(0,5337) = 0,25 * 1 * \frac{2,5}{1,5} \left(\frac{0,4}{0,5337} \right) = 0,3122$$

$$\text{Tagliante alla base } F_h = 0,3122 * 0,85 * 2132,5025 = 585,9022$$

Calcolo delle Azioni Orizzontali

Ordinante 3274 sudo A

Livello Numero	Peso Sismico	Altezza h [m]	W*h	y	F [t]	Xg	Yg
VI	188,5210	23,50	4430,2428	0,1715	97,0714	2,4163	5,7200
V	344,7858	19,32	6661,2582	0,2579	145,9554	2,6017	5,7874
IV	376,2827	15,19	5700,5437	0,2207	124,9051	2,5558	5,7563
III	400,9118	11,08	4434,0819	0,1717	97,1555	2,4682	5,7356
II	407,7180	7,04	2870,3348	0,1111	62,8921	2,4820	5,7522
I	420,0853	4,12	1730,7613	0,0870	37,8226	2,1584	5,5518
	2137,3041		25827,2123	1,0000	665,9022		

Forza Orizzontale
585,9022 t.

$$F_b = 585 \text{ t}$$

$$T_1 = C_1 * H^{\frac{3}{4}}$$

$$F_i = S_d(T_1) * W * \lambda * \frac{z_i * W_i}{\sum z_j * W_j}$$

$$T_1 = 0,05 * 23,5 * 0,75 = 0,5337$$

$$S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left(\frac{T_c}{T} \right) \Rightarrow S_d(0,5337) = 0,25 * 1,25 * \frac{2,5}{1,5} \left(\frac{0,5}{0,5337} \right) = 0,4879$$

$$\text{Tagliante alla base } F_h = 0,4879 * 0,85 * 2132,5025 = 884,3808$$

Calcolo delle Azioni Orizzontali

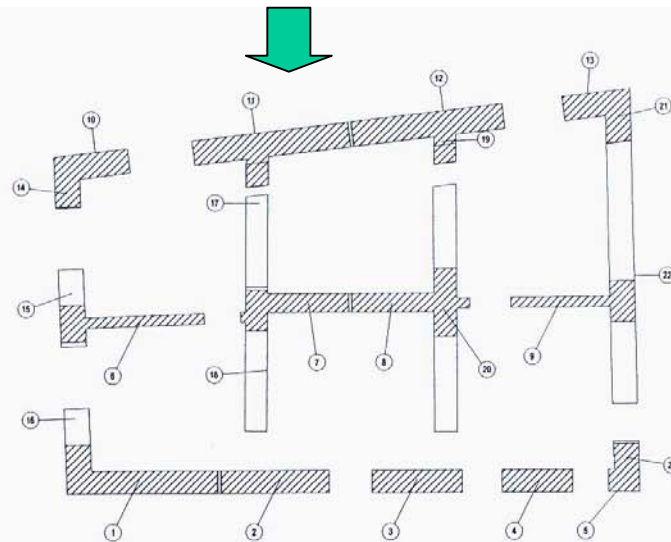
Livello Numero	Peso Sismico	Altezza h [m]	W*h	y	F [t]	Xg	Yg
VI	188,5210	23,50	4430,2426	0,1715	151,7013	2,4163	5,7200
V	344,7856	19,32	6661,2582	0,2579	228,0962	2,8017	5,7674
IV	375,2827	15,19	5700,5437	0,2207	185,1992	2,5558	5,7563
III	400,9116	11,06	4434,0819	0,1717	151,8328	2,4682	5,7356
II	407,7180	7,04	2870,3346	0,1111	98,2866	2,4820	5,7522
I	420,0853	4,12	1730,7513	0,0670	59,2647	2,1594	5,5519
			2137,3041	25627,2123	1,0000	884,3808 t.	

Forza Orizzontale
884,3808 t.

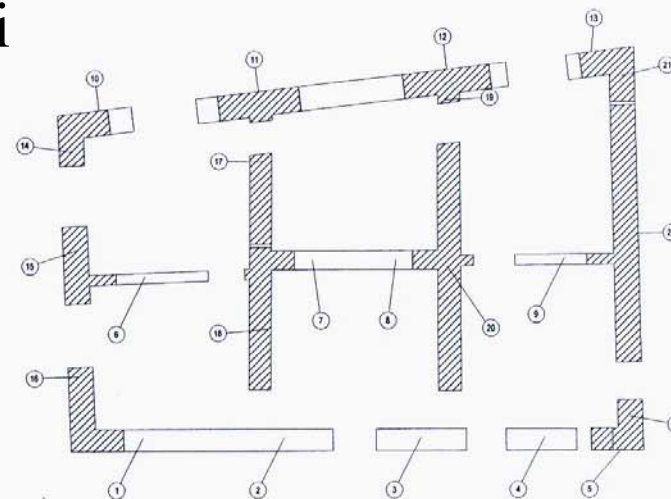
Ordinante 3274
Suolo B

$$F_b = 884 \text{ t}$$

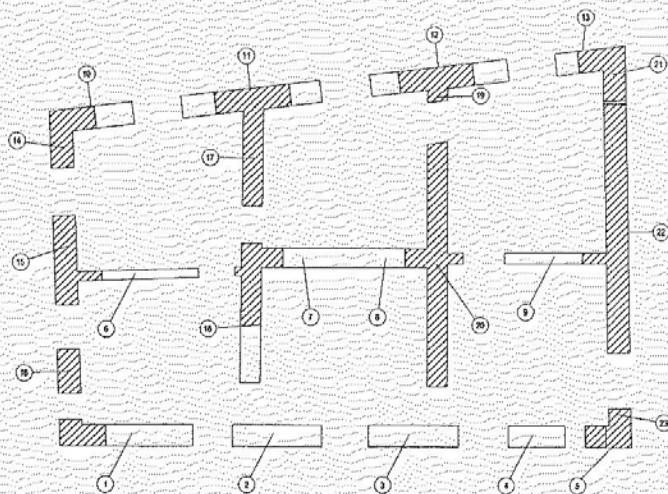
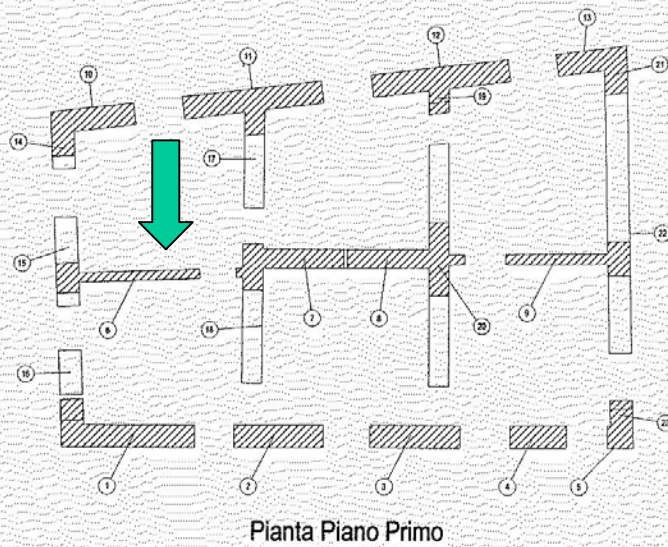
Alcuni setti sono
Scomposti in due parti

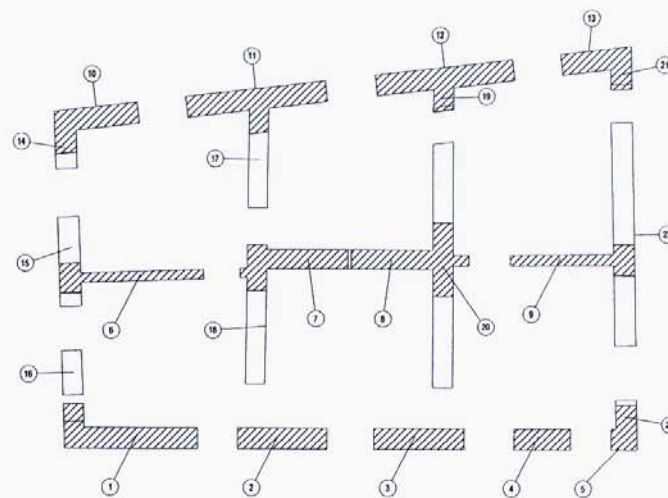


Pianta Piano Ammezzato

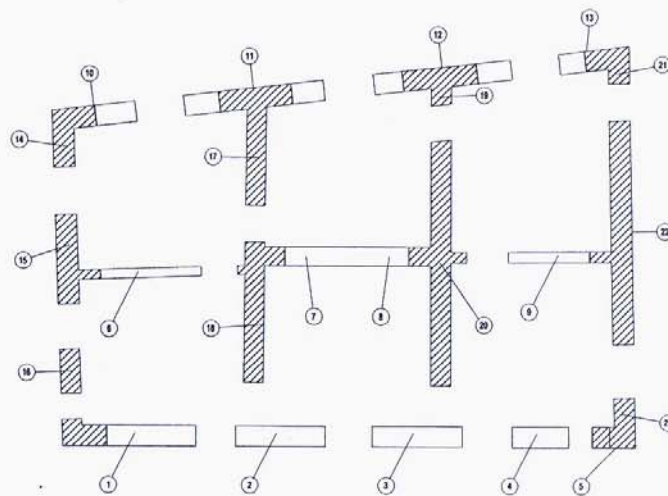


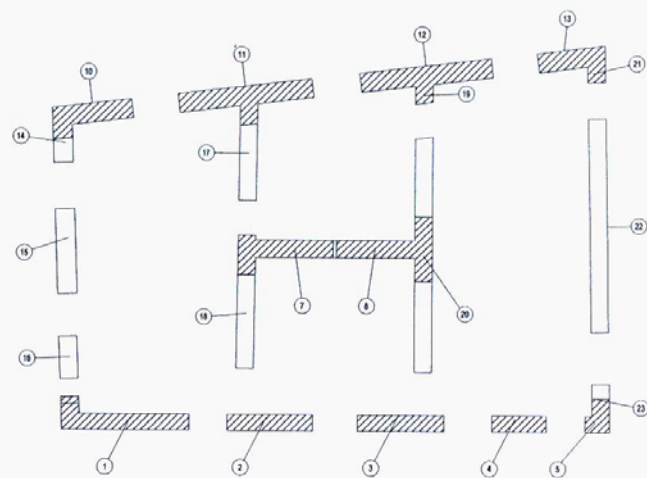
Setti molto sottili



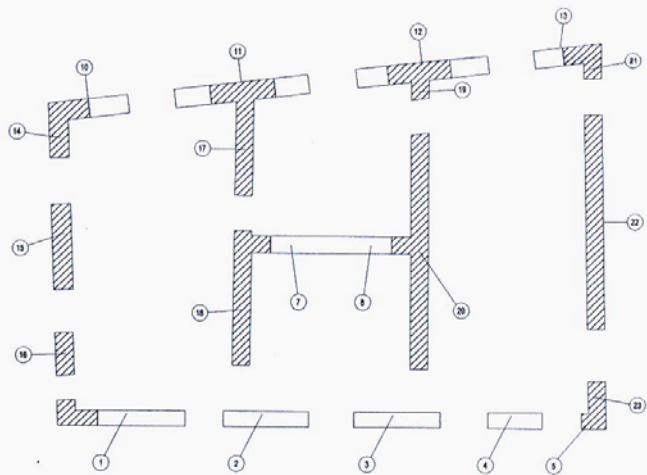


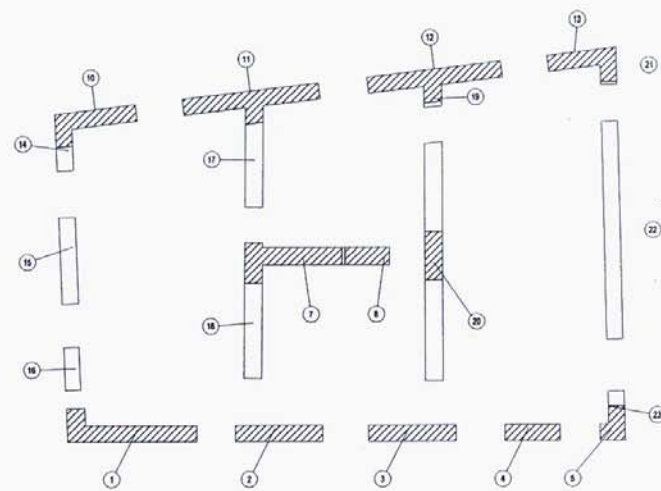
Pianta Piano Secondo



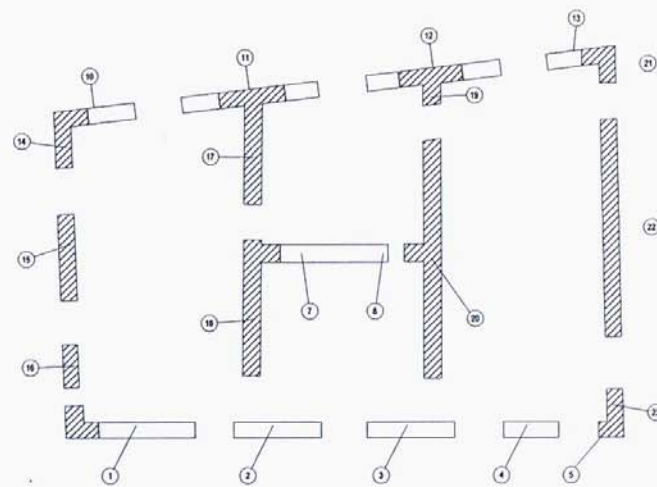


Pianta Piano Terzo

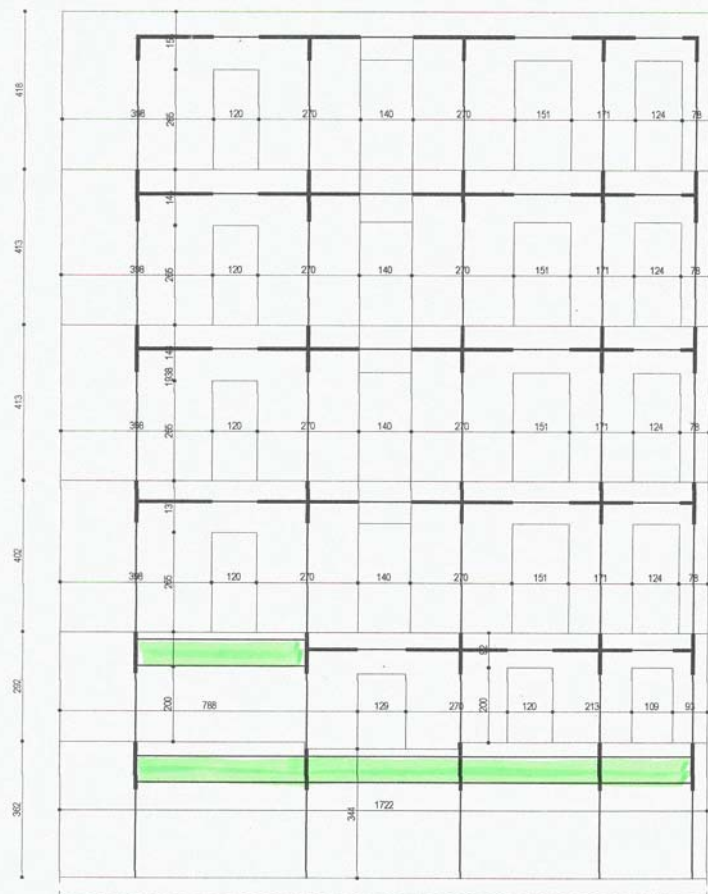




Pianta Piano Quarto

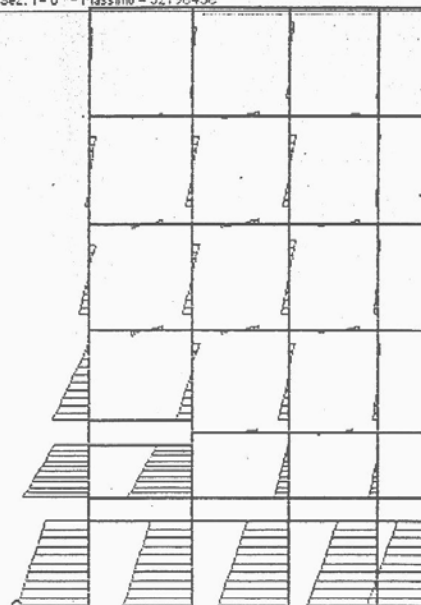


Parete A

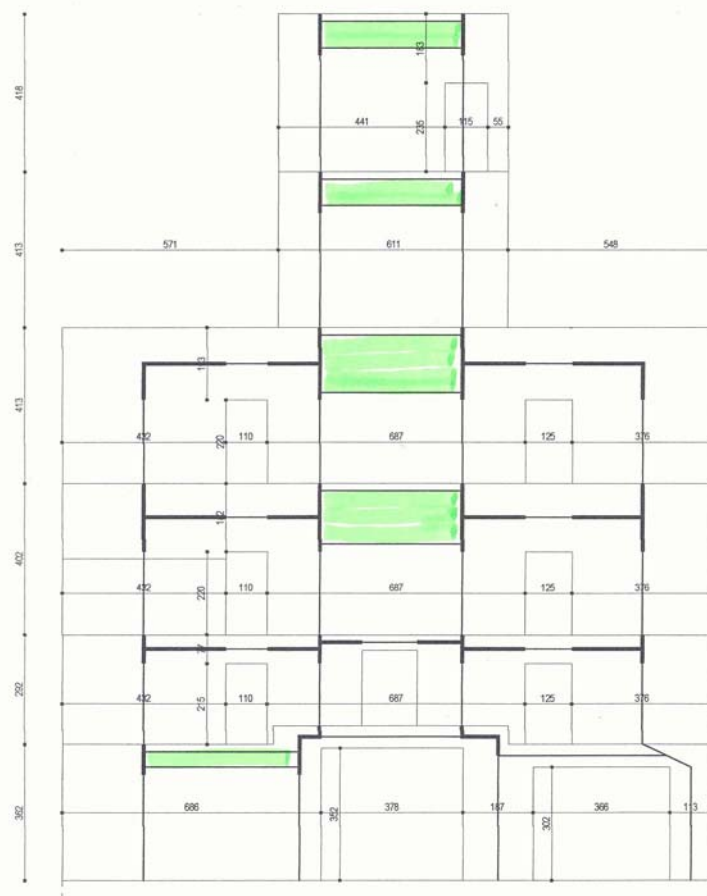


Parete - A -

Grafico degli sforzi - Sez. Y=0 - Massimo = 52796456

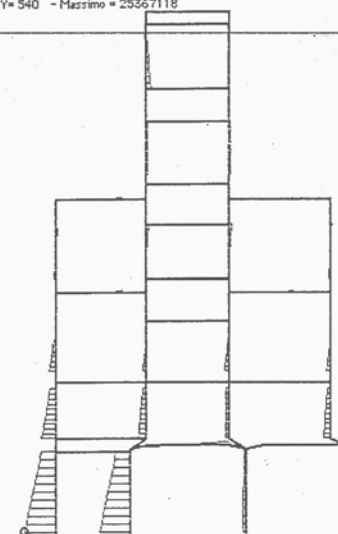


Parete B



Parete - B -

Grafico degli sforzi - Sec. Y= 540 - Massimo = 25367118



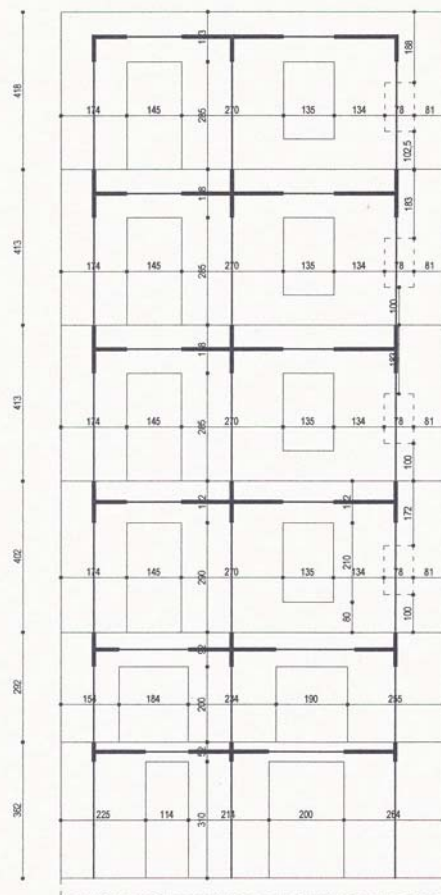
[illegible]

Parete - C -

Grafico degli sforzi - Sec. Y=1050 - Massimo = 26801470

- pag. 117 -

Parete D

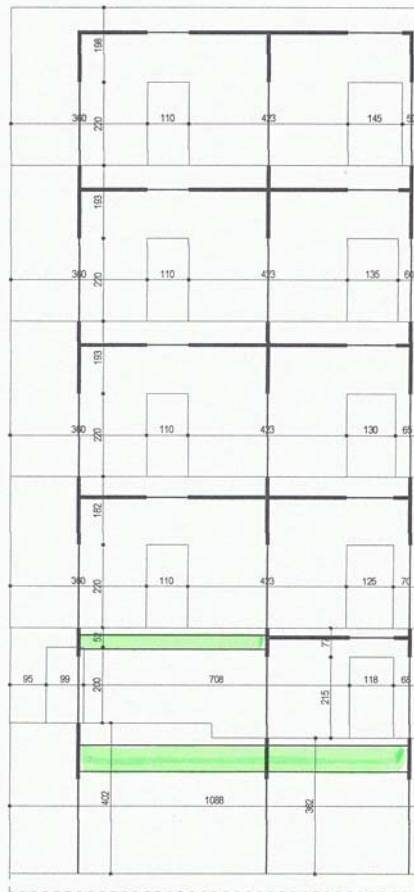


Parete - D -

Grafico degli sforzi - Sez. X=0 - Massimo = 8047763

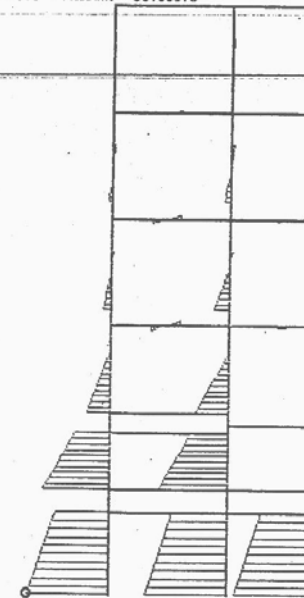


Parete E



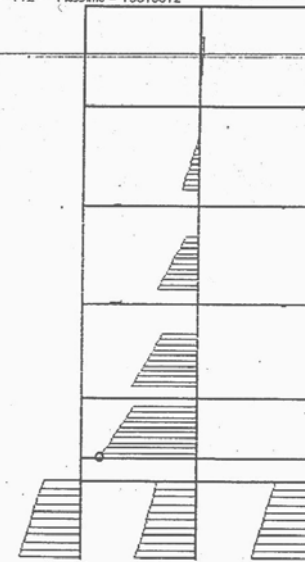
Parete - E -

Grafico degli sforzi - Sez. X= -560 - Massimo = 60136816

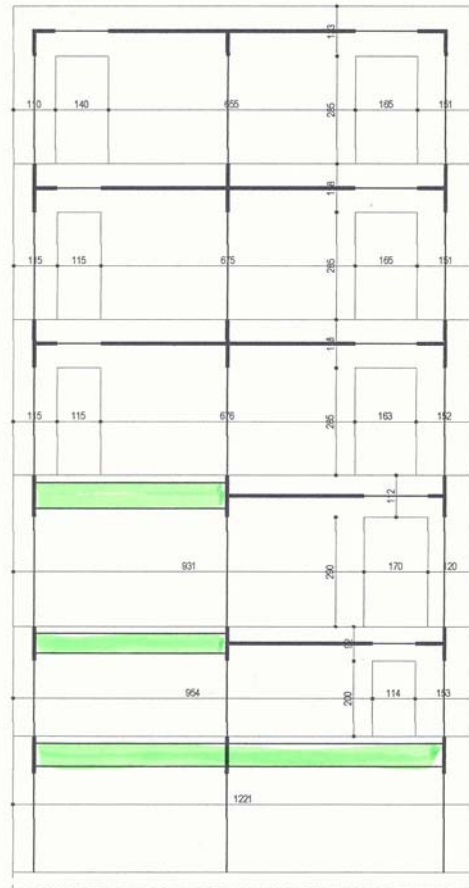


Parete F

Technical drawing of Parete F, showing a wall section with dimensions and reinforcement details. The drawing includes a grid of reinforcement bars with dimensions in millimeters. A green shaded area at the bottom indicates a specific reinforcement zone.

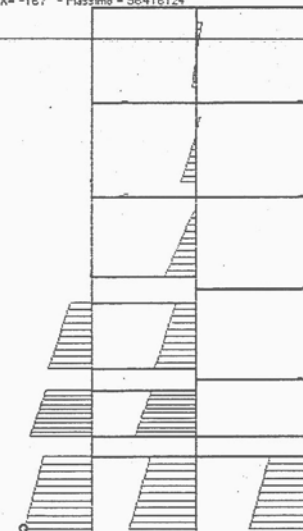


Parete G



Parete - G -

Grafico degli sforzi - Sez. K= -167 - Massimo = 56416124



Livello di conoscenza:

Geometria

- Rilievo sommario
- Rilievo completo

Dettagli strutturali

(verifiche in situ limitate ovvero estese ed adeguate)

- Collegamento tra le pareti (qualità ed integrità delle ammorsature delle croci di muro);
- Collegamento solaio-parete (cordoli e relativa armatura)
- Piattabande, elementi spingenti etc.

Proprietà dei materiali

- Verifiche in situ limitate (valutazioni visive e bibliografiche)
- Verifiche in situ estese (martinetti piatti); 1 prova per tipologia di muratura presente
- Verifiche in situ esaustive; almeno tre prove per ogni tipo di muratura

LC1: Conoscenza limitata

Rilievo sommario – verifiche in situ limitate (dettagli e materiale)

$$\gamma_m = 3$$

LC2: Conoscenza adeguata

Rilievo completo – verifiche in situ estese (dettagli e materiale)

$$\gamma_m = 2$$

LC3: Conoscenza accurata

Rilievo completo – verifica in situ estesa (dettagli) ed esaustiva (materiale)

$$\gamma_m = 1.4$$

Caratterizzazione del materiale

Tufo giallo di ottuno pulito

COMPRESSIONE

Resistenza media degli elementi: $f_{bm} = 5 \text{ MPa}$ (50 kg/cm^2)

Resistenza caratteristica $f_{bk} = 0.75 f_{bm} = 3.75 \text{ MPa}$

Molte tipi M3 (bestende) $f_m \sim 5 \text{ MPa}$

Dalla Tabella D (D.M. 1987)

$$f_k = 2.6 \text{ MPa}$$

Livello di conoscenza sicuro LC3

$$\gamma_m' = 0.70 \quad \gamma_m = 1.4$$

Resistenza di calcolo $f_d = f_k / \gamma_m' = 1.85 \text{ MPa}$

TAGLIO

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 G_0$$

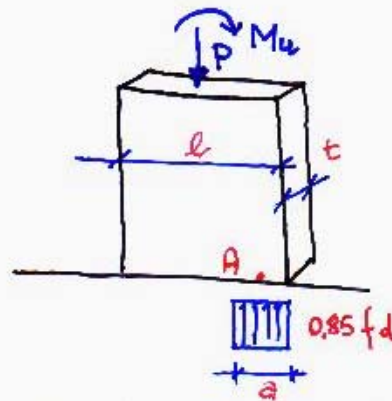
Dalla Tabella E (D.M. 1987)

$$f_{vko} = 0.2 \text{ MPa}$$

Verifica degli elementi strutturali

Maschi murari

Pressoflessione nel piano



Equilibrio alla trazione verticale

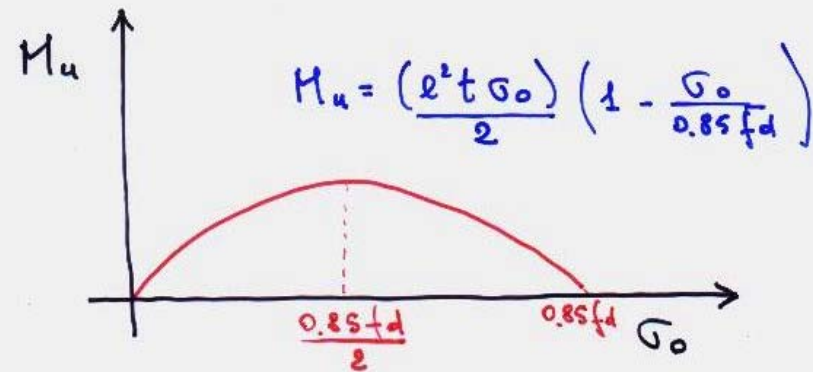
$$P = 0.85 f_d a t \Leftrightarrow a = P / (0.85 f_d t)$$

Equilibrio alla rotazione intorno al punto A

$$M_u = P(l - a)/2$$

esprimendo $P = \sigma_0 l t$

$$M_u = \sigma_0 l^2 t (1 - \sigma_0 / 0.85 f_d) / 2$$



esempio



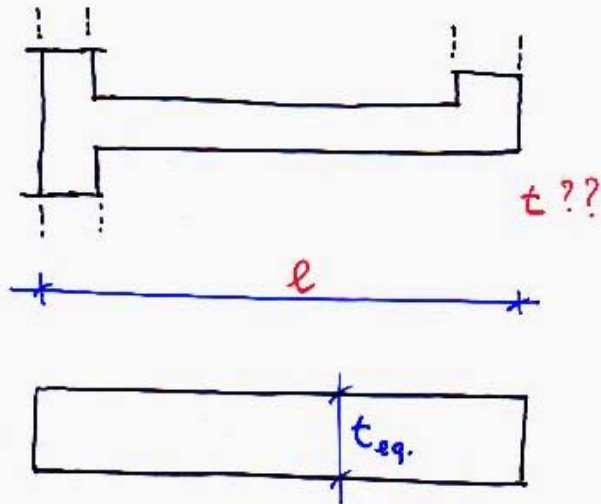
a) $M_u = G_0 l^2 t (1 - G_0 / 0.85 f_d) / 2$
 $= 3 \times 10^1 = 3 \times 10^6 \times 3 \cdot 10^2 (1 - 0.3 / 0.85 \cdot 1.85) / 2$
 $= 32.8 \cdot 10^3 \text{ Nmm} = 328 \text{ kNm } (32.8 \text{ tm})$

verifica a taglio

b) $M_d = 300 \text{ kNm}$
 $e = M_d / N_d = 300 / 270 = 1.11 \text{ m}$
 $l' = 1.17 \text{ m}$
 $V_t = l' t \cdot f_{vk} / \gamma_n$
 $f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 G'_0 = f_{vk0} + 0.4 \frac{N_d}{l' t}$
 $= 0.2 + 0.4 \frac{270 \cdot 1000}{300 \times 1170} = 0.2 + 0.3 = 0.5 \text{ MPa}$
 $V_t = 1170 \times 300 \times 0.5 / 1.4 = 125.3 \text{ kN } (12.5 \text{ t})$

In genere la condizione
Più severa si determina
Quando si consideri
Il carico assiale minimo,
Sia per la verifica a
Pressoflessione che a
Taglio.

Pannello di forme non rettangolari

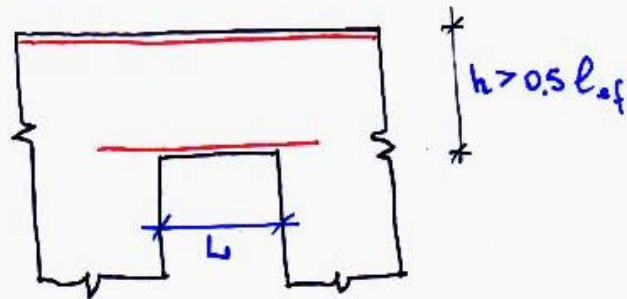


$$t_{eq} = A/l$$

Si può determinare
Uno “spessore equivalente”

Verifica delle fasce di piano

- in assenza di cordoli di piano, pietrelle e etc risulteranno estremamente deboli e configureranno lo schema "a fasce di piano deboli."
- in presenza di cordoli, pietrelle e etc. si può fare riferimento ai contenuti del EC6



$$l_{ef} = 1.15 L$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yk} \cdot z / \gamma_s \quad (\text{acciaio})$$

$$M_{Rd} = 0.4 \cdot f_k \cdot b d^2 / \gamma_m \quad (\text{muratura})$$

ove z "braccio della coppia interna" =

$$= \min (0.7 l_{ef}; 0.4 h + 0.2 l_{ef})$$

ove d "altezza utile efficace" $d = 1.25 z$

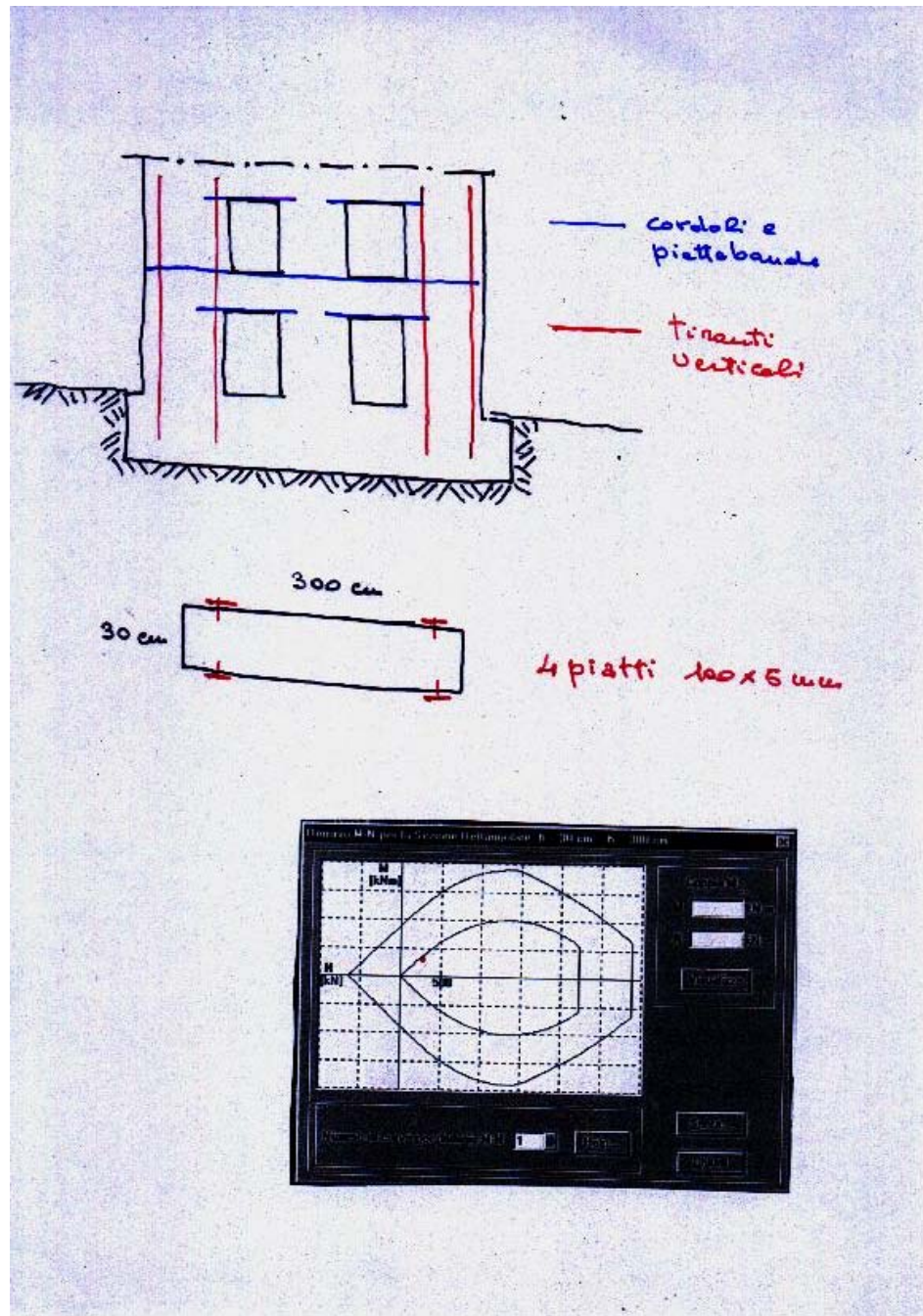
Verifica a taglio:

a) In assenza di armature a taglio:

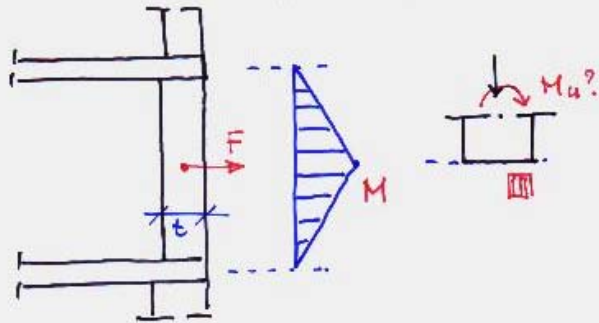
$$V_d \leq V_{rd1}$$

$$V_{rd1} = f_{vk} b d / \gamma_m$$

La necessità di “armare”
I maschi murari più
Sollecitati.



Verifica della parete fuori dal piano
(pseudoflessione)



$T_d?$

a) molla del muro distribuite " μ " $T_d = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{H h^3}{E J}}$

b) molla del muro concentrate $T_d = 2\pi \sqrt{\frac{u}{k}}$

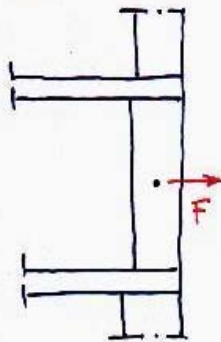
ove $k = \frac{h^3}{48 E J}$ e $u = \mu h/2$

esempio parete in tufo

$E = 3 \times 10^9 \text{ N cm}^2$ (30000 kgf cm^2); $\mu = 510 \text{ kgf cm}^2$; $t = 300 \text{ mm}$
 $h = 3 \text{ m}$

ipotesi a) $T_d = 0.04 \text{ sec}$

b) $T_d = 0.05 \text{ sec.}$



$$F = W_d \cdot S_d \cdot \gamma_1 / q_d$$

$$q_d = 2 \text{ (periti)}$$

$$q_d = 1 \text{ (mensola)}$$

W_d = peso dell'elemento

$$S_d = \frac{3 S_{dg} (1 + z/H)}{g (1 + (1 - T_d/T_1)^2)}$$

S_d è maggiore ai piani alti $0 \leq z/H \leq 1$

S_d " " $T_d = T_1$

esempio: suolo A - zona 2 - $S_{dg} = 0.25 g$

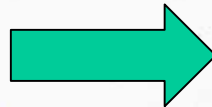
$$S_d \leq \frac{3 \cdot 0.25 \cdot g (1 \pm 1)}{2 g} = 0.75$$

$$F = W_d \cdot 0.75 \cdot \gamma_1 / 2 = 0.375 W_d \text{ (per } \gamma_1 = 1)$$

$$W_d = 15.3 \text{ kN}; F = 5.7 \text{ kN}; M = \frac{5.7 \times 3}{4} = 4.3 \text{ kNm}$$

ipotizzando $G_0 = 0.3 \text{ MPa} \rightarrow N_d = 90 \text{ kN}$

$$M_u = (e^2 t G_0 / 2) (1 - G_0 / 0.85 f_d) = 10.9 \text{ kNm}$$

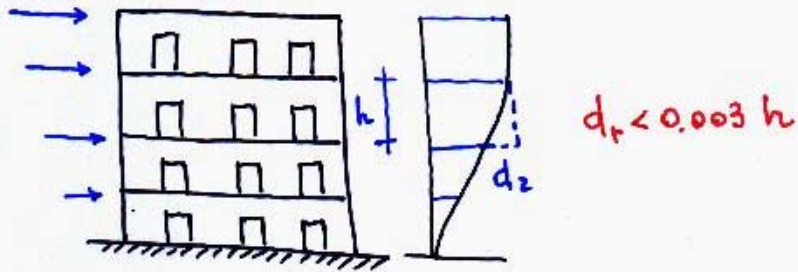


Amplificazione ai piani alti

Amplificazione per risonanza

$$T_a \sim T_1$$

Stato limite di danno [SLD]



Le azioni sismiche si determinano
sulla base dello specifico spettro di progetto
(spettro elastico / 2.5)

suolo tipo A parete D piano IV $d_2 = 0.55 \text{ cm}$

suolo tipo B " " " $d_2 = 0.86 \text{ cm}$

$h = 400 \text{ cm}$ $d_{2max} = 1.2 \text{ cm}$

E' opportuno considerare
le sezioni parzializzate
(inerzia dimezzata).

Ne consegue che gli spostamenti
calcolati devono essere raddoppiati