

## **PARTE SECONDA**

### **ESEMPIO**



## CAPITOLO I

### GENERALITÀ

Le indicazioni teoriche fornite nella prima parte del testo vengono rese applicative in questa seconda parte, che prende in esame in tutti i suoi dettagli le diverse fasi della progettazione di un edificio ben definito. Ovviamente, ogni progetto richiede una serie di scelte in parte soggettive. L'esempio che si propone non deve quindi essere visto come un modello da seguire ciecamente, ma solo come una occasione per riesaminare la teoria alla luce di problemi concreti.

Il fabbricato che si prende esemplificativamente in esame è destinato ad uso abitativo e situato in zona sismica, con grado di sismicità  $S = 9$ . Presenta un piano cantinato con calpestio su vespaio, un piano terra, tre piani in elevazione ed una terrazza praticabile. Esso è quindi strutturalmente costituito da 5 impalcati, oltre a un sesto, di estensione molto limitata, a copertura del torrino scale e ascensore. Il piano terra differisce dal piano tipo solo per l'assenza dei balconi.

La pianta ha forma ad L, con ali non molto lunghe e quindi abbastanza compatta. Si è scelta una pianta di tale forma, che non è tra le più indicate per un regolare comportamento in caso di sisma, proprio per evidenziare alcuni dei problemi connessi all'assenza di simmetria strutturale.

Gli elementi di contenimento del terreno in corrispondenza del cantinato sono realizzati in maniera tale da essere completamente indipendenti dalla struttura del fabbricato.

Nelle pagine che seguono sono riportate una sezione del fabbricato (figu-

ra 1), la pianta del piano tipo (figura 2) e la pianta della copertura (figura 3).

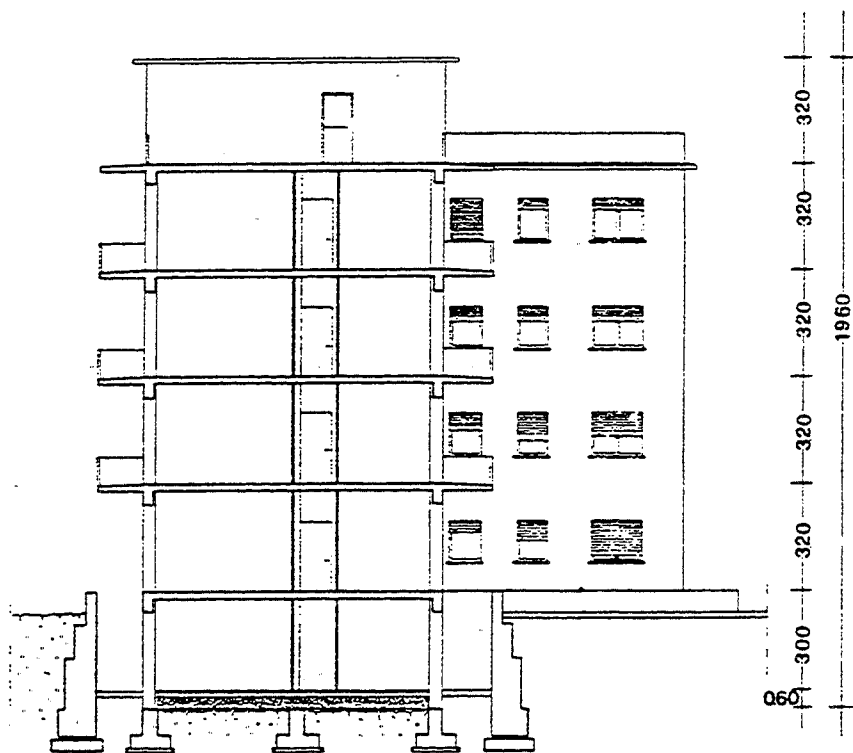


FIG.1 - Sezione A-A'

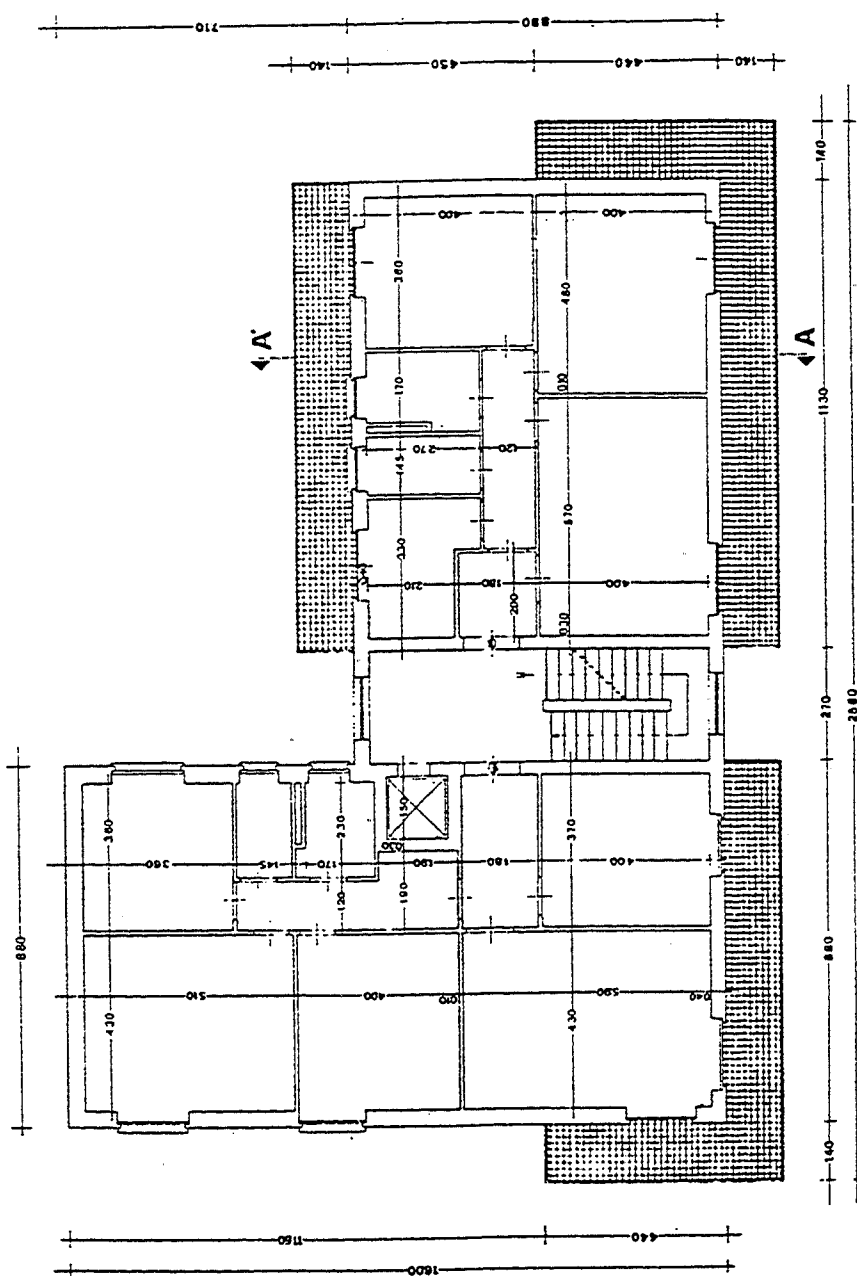


FIG.2 - Pinto del piano tipo

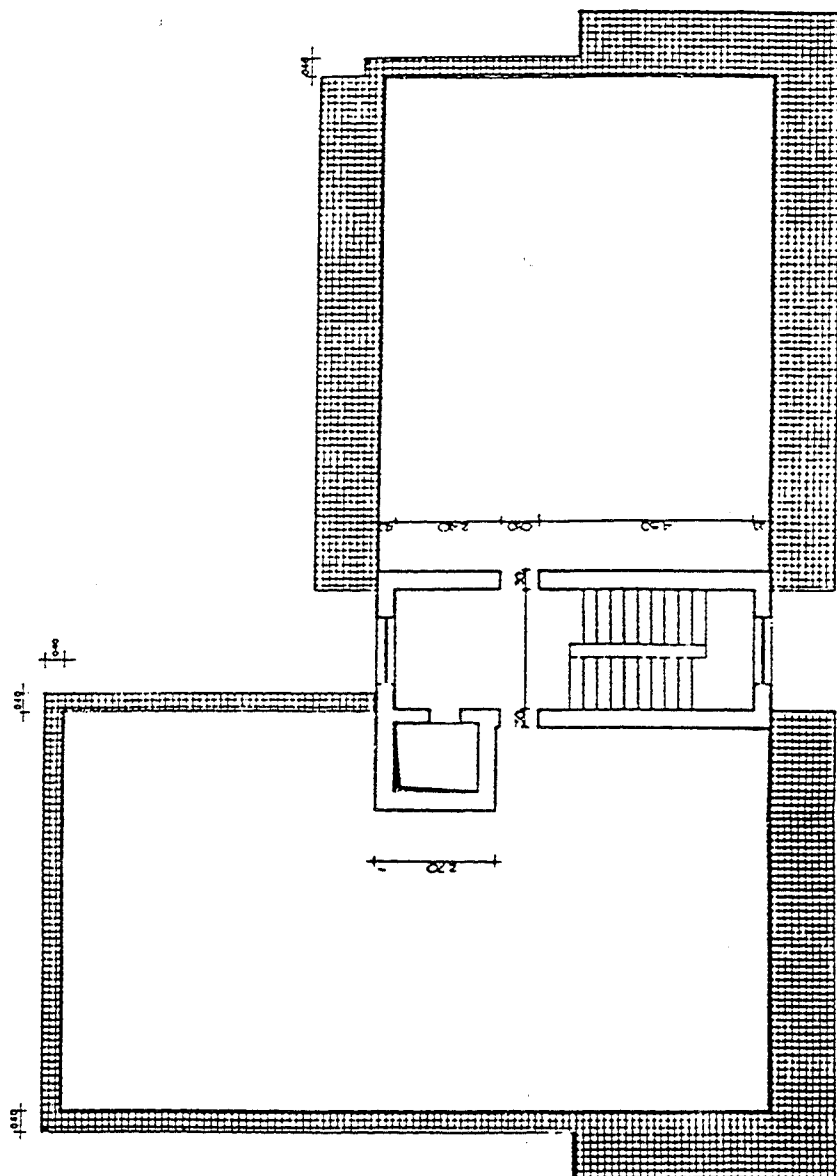


FIG.3 - Pinto della copertura

## CAPITOLO II

### MATERIALI UTILIZZATI

Si riportano di seguito le caratteristiche dei materiali utilizzati nel progetto della struttura.

A proposito delle unità di misura, si osserva che, mentre la normativa italiana si è adeguata allo standard costituito dal "sistema internazionale", che utilizza come unità di misura delle forze il newton (N), la maggior parte degli strutturisti adotta ancora il sistema tecnico, che misura le forze in chilogrammi peso (kgp, o semplicemente kg). Si è pertanto preferito riportare per tutte le grandezze i valori in entrambe le unità.

#### ACCIAIO

tipo: Fe B 38 k controllato in stabilimento

nel progetto si sono utilizzate barre di diametro 8 10 14 20 mm

tensione normale ammissibile:  $2200 \text{ kgcm}^{-2}$   $215 \text{ Nmm}^{-2}$

#### CALCESTRUZZO

resistenza caratteristica cubica:  $R_{bk} = 250 \text{ kgcm}^{-2}$   $25 \text{ Nmm}^{-2}$

tensione normale ammissibile per  
sollecitazioni di flessione:  $85 \text{ kgcm}^{-2}$   $8.5 \text{ Nmm}^{-2}$

tensione tangenziale al di sotto  
della quale non è necessario il  
calcolo delle armature:

$$5.33 \text{ kgcm}^{-2} \quad 0.53 \text{ Nmm}^{-2}$$

tensione tangenziale limite:

$$16.86 \text{ kgcm}^{-2} \quad 1.68 \text{ Nmm}^{-2}$$

tensione tangenziale limite in  
presenza di taglio e torsione:

$$18.55 \text{ kgcm}^{-2} \quad 1.85 \text{ Nmm}^{-2}$$

#### COEFFICIENTE DI OMOGENEIZZAZIONE

$$n = E_f / E_c = 15$$



## CAPITOLO III

### IMPOSTAZIONE STRUTTURALE DELL'EDIFICIO: LA CARPENTERIA

#### 3.1. Impostazione preliminare della carpenteria.

Da un primo esame della pianta architettonica si può notare che essa è sostanzialmente costituita da due blocchi, ciascuno corrispondente a un appartamento e a un braccio della L, uniti in corrispondenza del vano scala. La forma rettangolare allungata e la disposizione della tramezzatura suggeriscono per entrambi la realizzazione di tre travi longitudinali emergenti (una di spina e due perimetrali) sulle quali scaricare il solaio, nonché ulteriori travi trasversali portanti il rompagno e gli sbalzi laterali, come schematicamente indicato in figura 4.

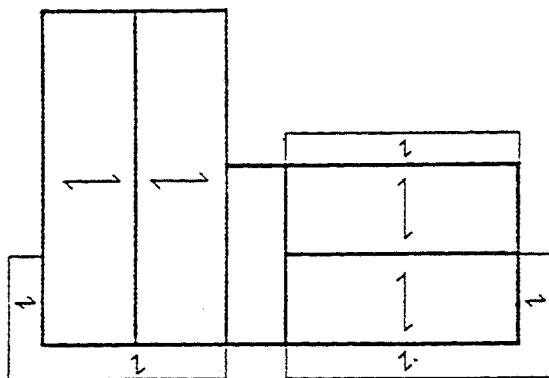


FIG.4

A sostegno delle travi portanti possono essere disposti pilastri con un interasse di circa 4 metri. Volendo rispettare il più possibile la pianta architettonica, la posizione di alcuni di essi è condizionata dalla presenza di aperture o di incroci di tramezzi. Si preferisce inoltre far sporgere i pilastri centrali nel corridoio per consentire maggior libertà di arredamento nelle stanze. L'esigenza di limitare comunque la loro sporgenza, nonché di mantenere i pilastri perimetrali all'interno della tompagnatura, consiglia l'adozione di sezioni rettangolari di larghezza 30 cm.

Nello schema così ottenuto sono previsti 27 pilastri. La necessità di congruenza con tramezzi e tompagni vincola l'orientamento di ben 18 di essi. Solo per i 9 pilastri situati all'incrocio di due tompagni è possibile scegliere liberamente l'orientamento (fig.5).

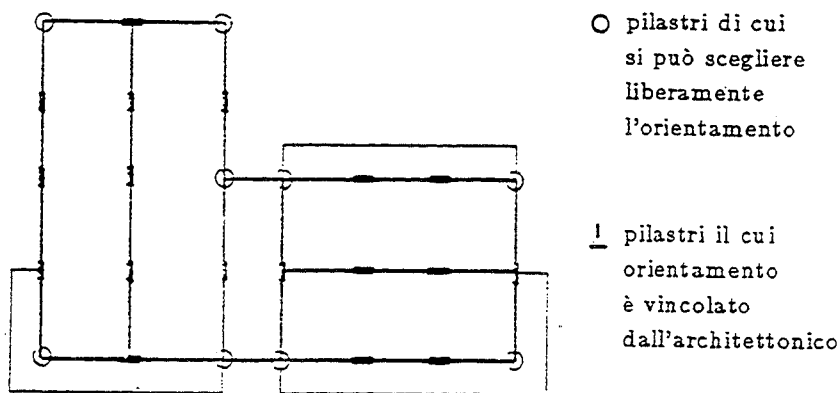


FIG.5

Un primo esame del comportamento dello schema finora definito nei confronti di azioni orizzontali non mostra globalmente sensibili squilibri tra le due direzioni, ma solo una leggera prevalenza di pilastri allungati nella direzione verticale in pianta (10 contro 8, tra quelli il cui orientamento è già definito). Risulta invece evidente un forte squilibrio tra le due parti innanzi individuate. A destra si ha una netta prevalenza di travi emergenti e pilastri allungati in modo da irrigidire la direzione orizzontale in pianta, mentre a sinistra è ancora più nettamente maggiore la rigidità nella direzione verticale.

Occorre quindi definire l'orientamento dei pilastri ancora in sospeso in maniera tale da bilanciare tale squilibrio. Se necessario, si potranno poi aggiungere ulteriori travi emergenti o, eventualmente, girare alcuni pila-

stri anche se a scapito dell'architettonico. In situazioni meno regolari di quella in esame può essere addirittura opportuno richiedere limitate modifiche dell'architettonico alla luce delle carenze evidenziate dal primo esame sommario o da un calcolo più approfondito.

I restanti pilastri sono stati orientati in base al criterio innanzi esposto; si è inoltre mantenuta una simmetria nei sei pilastri che sostengono la copertura del torrino scale. Sul disegno che rappresenta lo schema così ottenuto (fig.6) si sono sovrapposti due assi passanti per il baricentro geometrico dell'impalcato (valutato solo approssimativamente).

Si nota che i pilastri che principalmente resistono ad azioni sismiche nella direzione orizzontale in pianta sono disposti in maniera sufficientemente equilibrata rispetto all'asse baricentrico (6 da un lato dei quali 3 più eccentrici e 7 dall'altro). Nei confronti di azioni sismiche nella direzione verticale in pianta, invece, permane ancora, pur se attenuata, la debolezza della parte destra (che presenta 5 pilastri, dei quali 3 più eccentrici, che non bastano a compensare i 9 pilastri situati a sinistra dell'asse). Queste considerazioni, puramente qualitative, potrebbero essere confermate quantitativamente calcolando, e confrontando tra loro, la posizione del baricentro geometrico dell'impalcato e quello delle inerzie dei pilastri (prendendo in considerazione, come già detto, per ciascuna direzione solo i pilastri allungati in essa e collegati con travi emergenti). Data la regolarità della pianta in esame, si ritiene al momento inutile un tale calcolo, comunque approssimato. Si accetta quindi la disposizione schematica mostrata, rinviando una valutazione critica delle eccentricità alla fase immediatamente successiva alla risoluzione dello schema intelaiato.

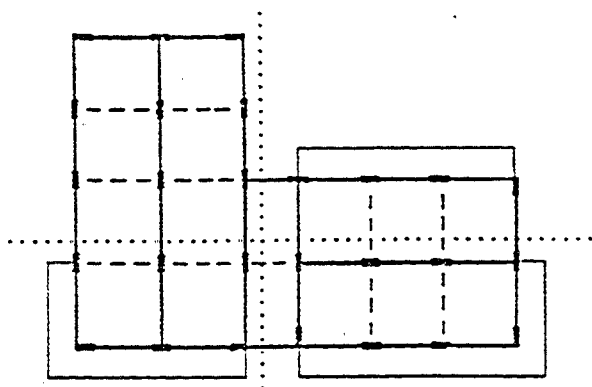


FIG.6

È importante definire già in questa fase anche la tipologia della scala. Si è preferito evitare la presenza di travi a ginocchio e scalini a sbalzo, a causa delle notevoli sollecitazioni che essa comporta nei pilastri su cui si innestano tali travi. Si è invece adottata la soluzione proposta da A. Giliberti, cioè una soletta rampante che poggia tramite pilastrini su una trave posta a livello dell'impalcato. Si ottiene in tal modo la massima regolarità strutturale, non avendo alcuna trave fuori piano, e si conferisce maggior resistenza all'impalcato nella zona in cui esso è più debole.

Nello schema di carpenteria si aggiungono infine travi a spessore di collegamento tra i pilastri, sulla base delle motivazioni teoriche già esposte nella prima parte del testo.

### 3.2. Dimensionamento delle sezioni.

#### 3.2.1. Travi a spessore.

Lo schema di carpenteria prevede travi a spessore solo come elementi di collegamento tra i pilastri. Si è scelto di realizzarle eliminando dal solaio una fila di laterizi, e quindi con sezione larga 60 cm. Poiché l'interasse dei pilastri non è multiplo della scansione dei laterizi, la fascia di calcestruzzo così ottenuta non può sempre essere simmetrica rispetto alla congiungente l'asse dei pilastri. Le armature, raccolte in una staffa larga 30 cm, possono comunque essere disposte in modo da collegare direttamente i pilastri, anche se non centrate rispetto alla sezione di calcestruzzo. Si è preferita questa soluzione anziché una disposizione rispettosa della simmetria per evitare una maggiore larghezza delle travi a spessore e quindi un appesantimento dell'impalcato.

#### 3.2.2. Travi emergenti.

Le campate emergenti presentano valori della luce non particolarmente elevati (circa 4 metri quelle portanti il solaio, 5 metri le altre). Si è quindi deciso di adottare la sezione 30x60, nonostante l'edificio presenti 5 impalcati. Per le travi dell'impalcato di copertura e del torrino scale si è ritenuta sufficiente la sezione 30x50.

#### 3.2.3. Pilastri.

La via più seguita per il dimensionamento dei pilastri consiste nel ri-

cavare dallo sforzo normale cui essi sono soggetti un valore orientativo, di minima, dell'area. Effettuare fin d'ora una accurata analisi dei carichi sui pilastri, come mostrato nel capitolo 6, è certamente utile. In questa fase è però anche possibile limitarsi a stimarne l'ordine di grandezza.

I pilastri sono disposti in pianta con notevole regolarità. In una valutazione di massima del carico verticale su essi agente possono individuarsi sostanzialmente tre categorie.

I pilastri di spina e quelli perimetrali in corrispondenza di sbalzi portano il massimo carico. Sul generico pilastro centrale gravano approssimativamente 8 m di trave e 21 m<sup>2</sup> di solaio (tenendo conto della continuità), con un carico complessivo di circa 18 t per impalcato. Valutando approssimativamente in 1 t a piano il peso proprio del pilastro, lo sforzo normale alla base sarà quindi per essi pari a 95 t.

I pilastri perimetrali in zone prive di sbalzo portano mediamente 6 m di trave, 4 m di tomagno e 10 m<sup>2</sup> di solaio, con un carico complessivo di circa 12 t per piano ed uno sforzo normale alla base pari a 65 t.

I due pilastri d'angolo lontani dagli sbalzi, infine, portano 4 m di trave e di tomagno e 4,5 m<sup>2</sup> di solaio, con un carico al piano di circa 8 t ed uno sforzo normale alla base pari a 45 t.

Noti gli sforzi normali, occorre definire una tensione media in base alla quale calcolare l'area minima dei pilastri.

La carpenteria presenta numerose travi emergenti. Inoltre l'interpiano mantiene anche al primo ordine un valore (3.60 m) non al di fuori della norma (in altri edifici spesso assume invece alla base valori più elevati, sia per esigenze architettoniche che per la necessità di raggiungere un più profondo piano di posa per le fondazioni). Si utilizza quindi per definire la minima area della sezione dei pilastri una tensione media di 45 kgcm<sup>-2</sup>.

I pilastri centrali richiedono di conseguenza un'area di 2100 cm<sup>2</sup>, quelli laterali 1450 cm<sup>2</sup> e quelli d'angolo 1000 cm<sup>2</sup>. Si potrebbe pertanto utilizzare una sezione 30x70 per i primi e 30x50 o 30x60 per tutti gli altri. Poiché i pilastri meno caricati sono in numero molto limitato, si preferisce però adottare per tutti la sezione 30x70.

La sezione prescelta non crea in alcun punto problemi architettonici. Si preferisce quindi mantenerla inalterata a tutti gli ordini. Solo per i 6 pilastri del torrino scale si adotta al sesto ordine la sezione 30x40.

### **3.3. Carpenteria esecutiva del piano tipo.**

Nella pagina che segue è riportata la carpenteria esecutiva del piano

tipo (fig.7). In essa sono individuati in maniera dettagliata i travetti e le file di laterizi del solaio, e conseguentemente anche le fasce di calcestruzzo delle travi a spessore. Nel disporre i laterizi si è tenuto conto della presenza di fori nell'impalcato. Si è fatto in modo di non interrompere alcun travetto con i fori (15x150 cm) per le tubazioni dei bagni. Intorno al foro dell'ascensore (150x150 cm) si è lasciata una adeguata fascia di calcestruzzo per ripristinare la continuità interrotta.

I pilastri sono allineati in due direzioni. Solo il pilastro 7 si trova leggermente spostato in verticale per lasciare spazio alla finestra della stanza. Il fascio di armature della trave a spessore 7-9 è quindi traslato rispetto a quello della trave 9-13; si è perciò prevista una più ampia zona di calcestruzzo per la disposizione di armature di raccordo.

### 3.4. Piante architettoniche.

Nelle pagine successive sono riportate le piante architettoniche del piano tipo (fig.8) e del piano terra (fig.9). In esse sono stati inseriti i pilastri, per evidenziarne la compatibilità con tramezzi e tompagni.

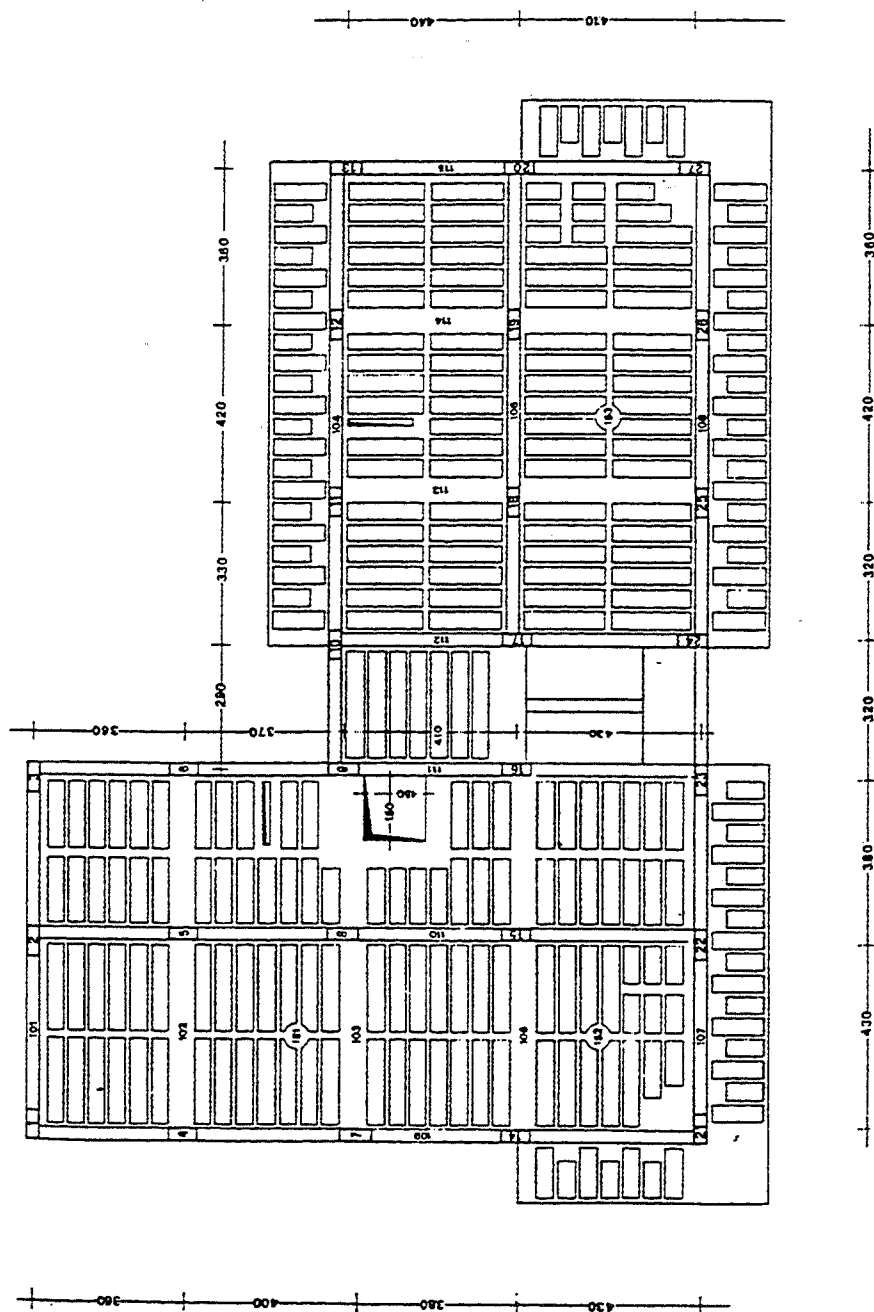


FIG.7 - Carpenteria del piano tipo

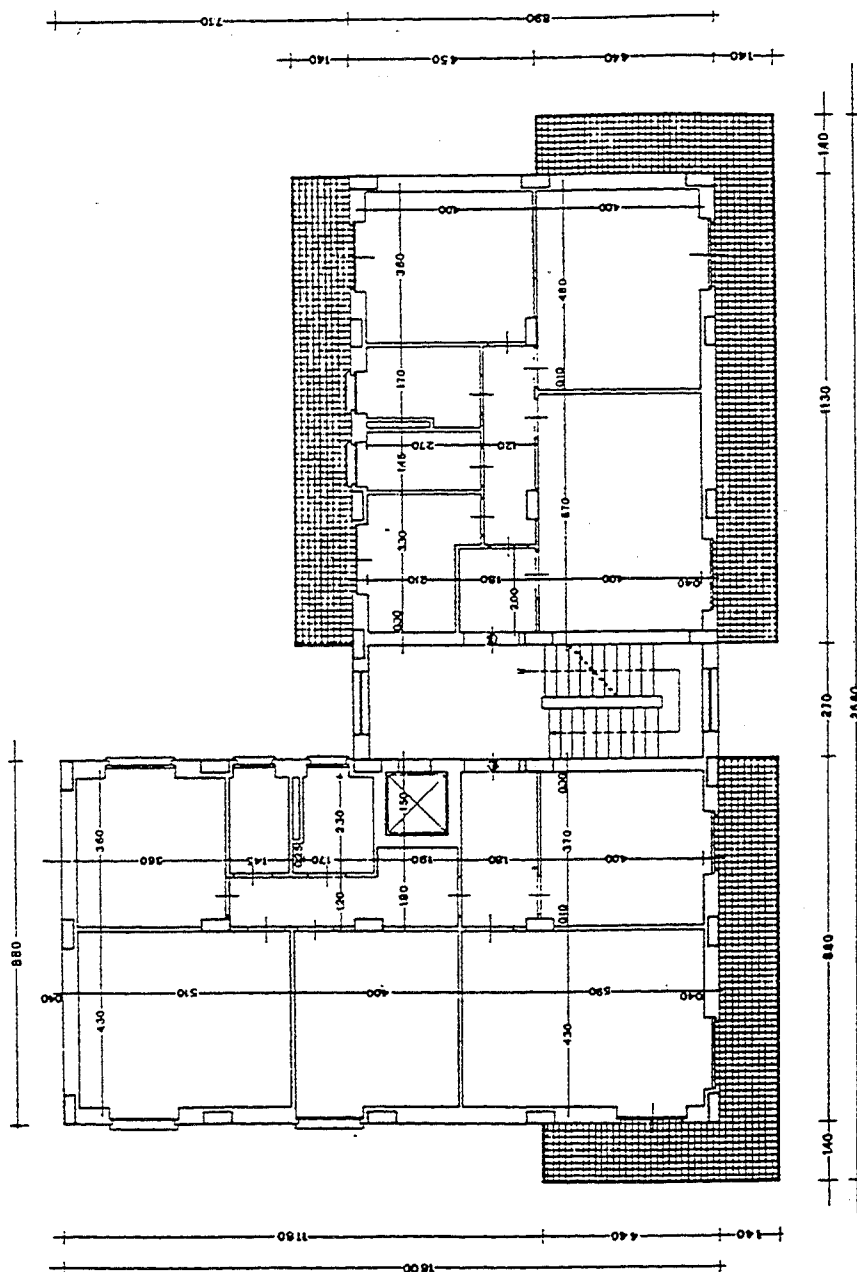


FIG.8 ~ Pianta del piano tipo



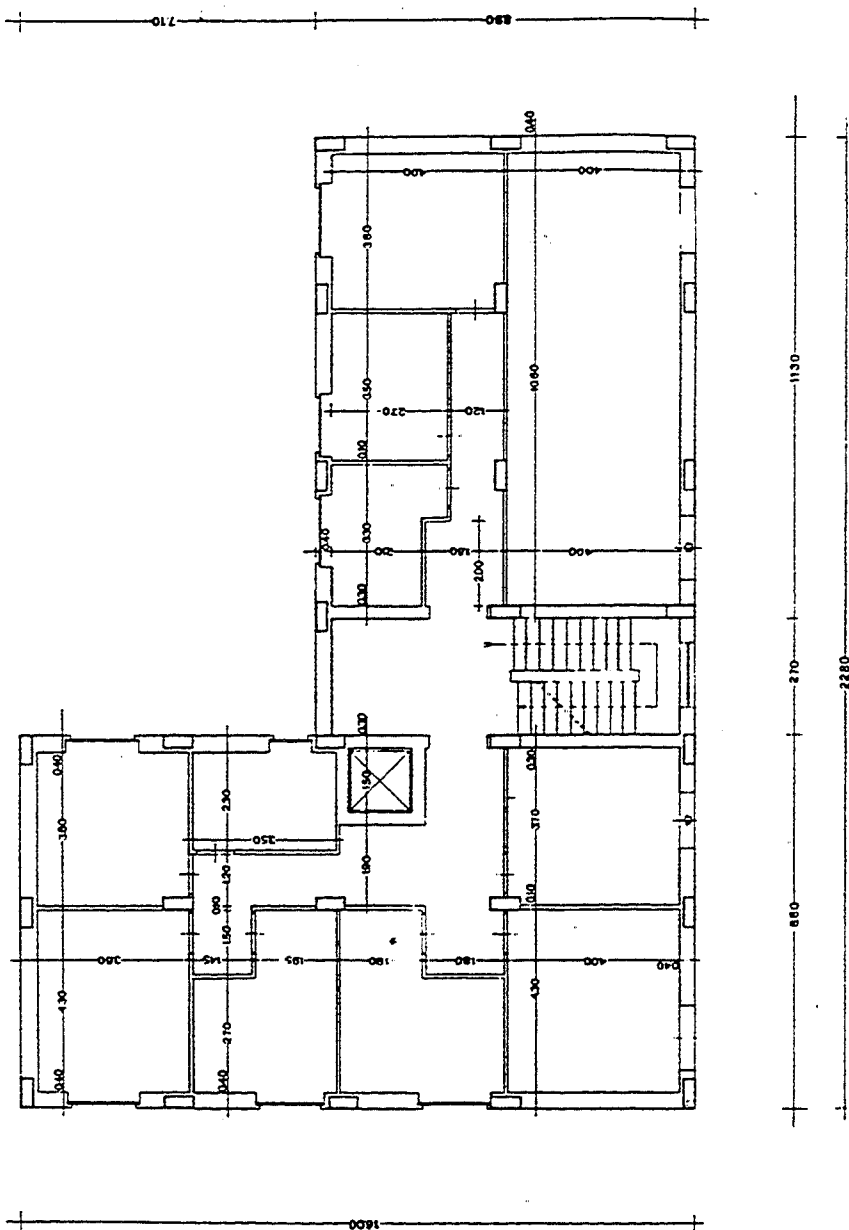


FIG.9 - Pianta del piano terra



## CAPITOLO IV

### ANALISI DEI CARICHI UNITARI

Si riportano di seguito i valori dei carichi unitari assunti per i singoli componenti strutturali. Nella valutazione del carico da utilizzare per la determinazione della massa globale dell'edificio si sono usati i seguenti coefficienti di riduzione dei sovraccarichi:  $s=0.33$  per solai e sbalzi;  $s=1.00$  per le scale.

#### A) SOLAIO

Le campate di solaio non hanno luce elevata. Le travi a spessore sono poche e soggette a carichi verticali modesti. Si adotta quindi un solaio di spessore 22 cm, realizzato in opera con laterizi alti 18 cm e soletta di spessore 4 cm. Solo per la copertura del torrino scale si adotta un solaio di spessore 18 cm, con laterizi alti 14 cm e soletta di spessore 4 cm.

##### *A1 - Solaio del piano tipo.*

peso proprio	280 $\text{kgm}^{-2}$	2.80 $\text{kNm}^{-2}$
pavimento, intonaco, massetto	120 $\text{kgm}^{-2}$	1.20 $\text{kNm}^{-2}$
incidenza tramezzi	100 $\text{kgm}^{-2}$	1.00 $\text{kNm}^{-2}$
	<hr/>	<hr/>
totale carichi fissi	$g = 500 \text{ kgm}^{-2}$	5.00 $\text{kNm}^{-2}$

sovraccarichi	$p = 200 \text{ kgm}^{-2}$	$2.00 \text{ kNm}^{-2}$
carico totale	$g + p = 700 \text{ kgm}^{-2}$	$7.00 \text{ kNm}^{-2}$
carico totale, per la valutazione della massa dell'edificio:	$g + s p = 570 \text{ kgm}^{-2}$	$5.70 \text{ kNm}^{-2}$
o, se i tramezzi sono valutati a parte:	$g + s p = 470 \text{ kgm}^{-2}$	$4.70 \text{ kNm}^{-2}$

*A2 - Solaio di copertura*

peso proprio	$280 \text{ kgm}^{-2}$	$2.80 \text{ kNm}^{-2}$
pavimento, intonaco, massetto, impermeabilizzazione	$140 \text{ kgm}^{-2}$	$1.40 \text{ kNm}^{-2}$
totale carichi fissi	$g = 420 \text{ kgm}^{-2}$	$4.20 \text{ kNm}^{-2}$
sovraccarichi	$p = 200 \text{ kgm}^{-2}$	$2.00 \text{ kNm}^{-2}$
carico totale	$g + p = 620 \text{ kgm}^{-2}$	$6.20 \text{ kNm}^{-2}$
carico totale, per la valutazione della massa dell'edificio:	$g + s p = 490 \text{ kgm}^{-2}$	$4.90 \text{ kNm}^{-2}$

*A3 - Solaio di copertura del torrino scale*

peso proprio	$250 \text{ kgm}^{-2}$	$2.50 \text{ kNm}^{-2}$
intonaco, massetto, impermeabilizzazione	$90 \text{ kgm}^{-2}$	$0.90 \text{ kNm}^{-2}$
totale carichi fissi	$g = 340 \text{ kgm}^{-2}$	$3.40 \text{ kNm}^{-2}$
sovraccarichi	$p = 100 \text{ kgm}^{-2}$	$1.00 \text{ kNm}^{-2}$
carico totale	$g + p = 440 \text{ kgm}^{-2}$	$4.40 \text{ kNm}^{-2}$
carico totale, per la valutazione della massa dell'edificio:	$g + s p = 370 \text{ kgm}^{-2}$	$3.70 \text{ kNm}^{-2}$

## B) SBALZI

Gli sbalzi richiedono un estradosso inclinato per consentire il deflusso delle acque piovane. Saranno quindi realizzati con laterizi di altezza 14 cm e soletta di spessore variabile da 4 a 8 cm. Per gli sbalzi di coperture e il cornicione (non praticabili) si assume un sovraccarico accidentale pari a  $100 \text{ kgm}^{-2}$ .

*B1 - Sbalzo del pian: tipo*

peso proprio	300 $\text{kgm}^{-2}$	3.00 $\text{kNm}^{-2}$
pavimento, intonaco, massetto	120 $\text{kgm}^{-2}$	1.20 $\text{kNm}^{-2}$
	<hr/>	<hr/>
totale carichi fissi	$g = 420 \text{ kgm}^{-2}$	4.20 $\text{kNm}^{-2}$
sovraccarichi	$p = 400 \text{ kgm}^{-2}$	4.00 $\text{kNm}^{-2}$
carico totale	$g + p = 820 \text{ kgm}^{-2}$	8.20 $\text{kNm}^{-2}$
carico totale, per la valutazione della massa dell'edificio:	$g + s p = 550 \text{ kgm}^{-2}$	5.50 $\text{kNm}^{-2}$
carico minimo:	$0.6 g = 250 \text{ kgm}^{-2}$	2.50 $\text{kNm}^{-2}$
carico massimo:	$1.4 (g+p) = 1150 \text{ kgm}^{-2}$	11.50 $\text{kNm}^{-2}$

*B2 - Sbalzo di copertura e cornicione*

peso proprio	300 $\text{kgm}^{-2}$	3.00 $\text{kNm}^{-2}$
intonaco, massetto, impermeabilizzazione	90 $\text{kgm}^{-2}$	0.90 $\text{kNm}^{-2}$
	<hr/>	<hr/>
totale carichi fissi	$g = 390 \text{ kgm}^{-2}$	3.90 $\text{kNm}^{-2}$
sovraccarichi	$p = 100 \text{ kgm}^{-2}$	1.00 $\text{kNm}^{-2}$
carico totale	$g + p = 490 \text{ kgm}^{-2}$	4.90 $\text{kNm}^{-2}$
carico totale, per la valutazione della massa dell'edificio:	$g + s p = 420 \text{ kgm}^{-2}$	4.20 $\text{kNm}^{-2}$
carico minimo:	$0.6 g = 230 \text{ kgm}^{-2}$	2.30 $\text{kNm}^{-2}$
carico massimo:	$1.4 (g+p) = 690 \text{ kgm}^{-2}$	6.90 $\text{kNm}^{-2}$

## C) SCALA

La scala verrà realizzata con una soletta rampante, di spessore pari a 22 cm, alleggerita con file di laterizi alti 18 cm.

peso proprio	280 kgm <sup>-2</sup>	2.80 kNm <sup>-2</sup>
pavimento, intonaco, massetto	220 kgm <sup>-2</sup>	2.20 kNm <sup>-2</sup>
totale carichi fissi	$g = 500 \text{ kgm}^{-2}$	5.00 kNm <sup>-2</sup>
sovraccarichi	$p = 400 \text{ kgm}^{-2}$	4.00 kNm <sup>-2</sup>
carico totale	$g + p = 900 \text{ kgm}^{-2}$	9.00 kNm <sup>-2</sup>
carico totale, per la valutazione della massa dell'edificio:	$g + s p = 900 \text{ kgm}^{-2}$	9.00 kNm <sup>-2</sup>

## D) TRAVI

*D1 - Trave emergente, sezione 30x60*

peso proprio	560 kgm <sup>-1</sup>	5.60 kNm <sup>-1</sup>
maggior peso rispetto al solaio	420 kgm <sup>-1</sup>	4.20 kNm <sup>-1</sup>

*D2 - Trave emergente, sezione 30x50*

peso proprio	490 kgm <sup>-1</sup>	4.90 kNm <sup>-1</sup>
maggior peso rispetto al solaio	350 kgm <sup>-1</sup>	3.50 kNm <sup>-1</sup>

*D3 - Travi a spessore, sezione 60x22*

peso proprio	330 kgm <sup>-1</sup>	3.30 kNm <sup>-1</sup>
maggior peso rispetto al solaio	160 kgm <sup>-1</sup>	1.60 kNm <sup>-1</sup>

## E) TOMPAGNATURA

È realizzata con due fodere di mattoni forati.

peso proprio	600 kgm <sup>-1</sup>	6.00 kNm <sup>-1</sup>
--------------	-----------------------	------------------------

## F) TRAMEZZI

Sono realizzati con mattoni forati.

peso proprio	300 kgm <sup>-1</sup>	3.00 kNm <sup>-1</sup>
--------------	-----------------------	------------------------

## G) PILASTRI

Si considera un'altezza di 2.60 m (3.00 m per il piano terra), al netto dell'ingombro delle travi.

*G1 - Pilastro del piano terra, sezione 30x70*

peso proprio	1570 kg	15.7 kN
--------------	---------	---------

*G2 - Pilastro del piano terra, sezione 30x70*

peso proprio	1360 kg	13.6 kN
--------------	---------	---------

*G3 - Pilastro del torrino scale, sezione 30x40*

peso proprio	780 kg	7.8 kN
--------------	--------	--------





## CAPITOLO V

### ANALISI DEI CARICHI SULLE TRAVI

Si mostra di seguito in dettaglio l'analisi dei carichi, fissi e accidentali, agenti sulle travi 22-2 e 27-13. Per tutte le travi è poi riportato un sintetico riepilogo dei valori ottenuti.

#### TRAVE 22-2 - V impalcato

campate 22-15, 15-8		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
solaio	1.15 x 4.25 m	2050	20.5	980	9.8
peso proprio		350	3.5		
totale		2400	24.0	980	9.8

campate 8-5, 5-2		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
solaio	1.20 x 4.25 m	2140	21.4	1020	10.2
peso proprio		350	3.5		
totale		2490	24.9	1020	10.2

Seguendo i criteri esposti nella prima parte del testo, si è assunto un coefficiente di continuità pari a 1.20 per le travi 8-5 e 5-2, perché esse costituiscono l'appoggio centrale di uno schema di solaio a due campate. Si è invece considerato un valore minore, 1.15, per le altre due travi, perché la presenza rispettivamente di uno sbalzo e di una terza campata di solaio

riducono la differenza complessiva tra il momento nell'appoggio in esame ed i due adiacenti.

### TRAVE 22-2 - I, II, III, IV impalcato

campate 22-15, 15-8		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
solaio	1.15 x 4.25 m	2440	24.4	980	9.8
peso proprio		420	4.2		
totale		2860	28.6	980	9.8

campate 8-5, 5-2		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
solaio	1.20 x 4.25 m	2550	25.5	1020	10.2
peso proprio		420	4.2		
totale		2970	29.7	1020	10.2

### TRAVE 27-13 - V impalcato

campata 27-20		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
sbalzo	2 x 1.55 m	1210	12.1	310	3.1
peso proprio		350	3.5		
totale		1560	15.6	310	3.1

campata 20-13		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
solaio	0.50 m	210	2.1	100	1.0
cornicione	0.55 m	210	2.1	60	0.6
peso proprio		350	3.5		
totale		770	7.7	160	1.6

Nella campata 27-20 il carico dovuto allo sbalzo laterale è stato raddoppiato, perché esso è ancorato al solaio retrostante che funge da contrappeso ed evita sollecitazioni torsionali nella trave.

### TRAVE 27-13 - II, III, IV impalcato

campata 27-20		carico $\text{kgm}^{-1}$	fisso $\text{kNm}^{-1}$	carico accidentale $\text{kgm}^{-1}$ $\text{kNm}^{-1}$	
sbalzo	2 x 1.55 m	1300	13.0	1240	12.4
tompagnatura		600	6.0		
peso proprio		420	4.2		
totale		2320	23.2	1240	12.4

campata 20-13		carico	fisso	carico accidentale	
		$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$	$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$
solaio	0.50 m	250	2.5	100	1.0
tompagnatura		600	6.0		
peso proprio		420	4.2		
totale		1270	12.7	100	1.0

## TRAVE 27-13 - I impalcato

campate 27-20, 20-13		carico	fisso	carico accidentale	
		$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$	$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$
solaio	0.50 m	210	2.1	100	1.0
tompagnatura		600	6.0		
peso proprio		420	4.2		
totale		1270	12.7	100	1.0

## RIEPILOGO DEI CARICHI

## V impalcato

campata	carico	fisso	carico accidentale		carico	totale
	$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$	$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$	$\text{kgm}^{-1}$	$\text{kNm}^{-1}$
21-22, 22-23	1560	15.6	310	3.1	1870	18.7
23-24	1380	13.8	440	4.4	1820	18.2
24-25, 25-26, 26-27	1870	18.7	600	6.0	2470	24.7
14-15, 15-16	580	5.8	200	2.0	780	7.8
16-17	960	9.6	640	6.4	1600	16.0
17-18, 18-19, 19-20	2340	23.4	950	9.5	3290	32.9
7-8, 8-9	580	5.8	200	2.0	780	7.8
9-10	1080	10.8	200	2.0	1280	12.8
10-11, 11-12, 12-13	1830	18.3	580	5.8	2410	24.1
4-5, 5-6	580	5.8	200	2.0	780	7.8
1-2, 2-3	770	7.7	160	1.6	930	9.3
21-14	1940	19.4	630	6.3	2570	25.7
14-7, 7-4, 4-1	1550	15.5	530	5.3	2080	20.8
22-15, 15-8	2400	24.0	980	9.8	3380	33.8
8-5, 5-2	2490	24.9	1020	10.2	3510	35.1
23-16	1750	17.5	380	3.8	2130	21.3
16-9	2540	25.4	1080	10.8	3620	36.2
9-6, 6-3	1360	13.6	440	4.4	1800	18.0
24-17	1160	11.6	100	1.0	1260	12.6
17-10	1790	17.9	700	7.0	2490	24.9
25-18, 18-11, 26-19, 19-12	580	5.8	200	2.0	780	7.8
27-20	1560	15.6	310	3.1	1870	18.7
20-13	770	7.7	160	1.6	930	9.3

## II, III, IV impalcato

campata	carico fisso		carico accidentale		carico totale	
	kgm <sup>-1</sup>	kNm <sup>-1</sup>	kgm <sup>-1</sup>	kNm <sup>-1</sup>	kgm <sup>-1</sup>	kNm <sup>-1</sup>
21-22, 22-23	2200	22.0	1240	12.4	3440	34.4
23-24	2000	20.0	880	8.8	2880	28.8
24-25, 26-27	2650	26.5	1060	10.6	3710	37.1
25-26	2770	27.7	1060	10.6	3830	38.3
14-15, 15-16	660	6.6	200	2.0	860	8.6
16-17	1510	15.1	1080	10.8	2590	25.9
17-18, 18-19, 19-20	2790	27.9	950	9.5	3740	37.4
7-8, 8-9	660	6.6	200	2.0	860	8.6
9-10	1150	11.5	200	2.0	1350	13.5
11-12	2660	26.6	1040	10.4	3700	37.0
10-11, 12-13	2600	26.0	1040	10.4	3640	36.4
4-5, 5-6	660	6.6	200	2.0	860	8.6
1-2, 2-3	1270	12.7	100	1.0	1370	13.7
21-14	2730	27.3	1090	10.9	3820	38.2
7-4, 4-1	2140	21.4	470	4.7	2610	26.1
14-7	2200	22.0	470	4.7	2670	26.7
22-15, 15-8	2860	28.6	980	9.8	3840	38.4
8-5, 5-2	2970	29.7	1020	10.2	3990	39.9
23-16	1970	19.7	380	3.8	2350	23.5
16-9	2780	27.8	1080	10.8	3860	38.6
9-6, 6-3	1910	19.1	380	3.8	2290	22.9
24-17	1270	12.7	100	1.0	1370	13.7
17-10	1900	19.0	700	7.0	2600	26.0
25-18, 18-11, 26-19, 19-12	660	6.6	200	2.0	860	8.6
27-20	2320	23.2	1240	12.4	3560	35.6
20-13	1270	12.7	100	1.0	1370	13.7

## I impalcato

campata	carico fisso		carico accidentale		carico totale	
	kgm <sup>-1</sup>	kNm <sup>-1</sup>	kgm <sup>-1</sup>	kNm <sup>-1</sup>	kgm <sup>-1</sup>	kNm <sup>-1</sup>
21-22, 22-23	1210	12.1	100	1.0	1310	13.1
23-24	2000	20.0	880	8.8	2880	28.8
24-25, 26-27	2060	20.6	440	4.4	2500	25.0
25-26	2120	21.2	440	4.4	2560	25.6
14-15, 15-16	660	6.6	200	2.0	860	8.6
16-17	1510	15.1	1080	10.8	2590	25.9
17-18, 18-19, 19-20	3000	30.0	1030	10.3	4030	40.3
7-8, 8-9	660	6.6	200	2.0	860	8.6
9-10	1150	11.5	200	2.0	1350	13.5
10-11, 11-12, 12-13	2010	20.1	420	4.2	2430	24.3
4-5, 5-6	660	6.6	200	2.0	860	8.6
1-2, 2-3	1270	12.7	100	1.0	1370	13.7
21-14, 7-4, 4-1	2140	21.4	470	4.7	2610	26.1
14-7	2200	22.0	470	4.7	2670	26.7
22-15, 8-5, 5-2	2970	29.7	1020	10.2	3990	39.9
15-8	2860	28.6	980	9.8	3840	38.4
23-16	1970	19.7	380	3.8	2350	23.5
16-9	2780	27.8	1080	10.8	3860	38.6
9-6, 6-3	1910	19.1	380	3.8	2290	22.9
24-17	1270	12.7	100	1.0	1370	13.7
17-10	1900	19.0	700	7.0	2600	26.0
25-18, 18-11, 26-19, 19-12	660	6.6	200	2.0	860	8.6
27-20, 20-13	1270	12.7	100	1.0	1370	13.7

## CAPITOLO VI

### ANALISI DEI CARICHI SUI PILASTRI

Per illustrare i criteri seguiti, si mostra in dettaglio il procedimento seguito per l'analisi dei carichi gravanti su alcuni pilastri dell'edificio. Per semplicità non si è effettuata la riduzione dei sovraccarichi consentita dalle norme C.N.R. per edifici multipiano, che sarebbe stata d'altronde modesta a causa del ridotto numero di piani del fabbricato in esame.

#### Pilastro 1 - I-IV ordine

- Solaio:** Sulla trave 1-4 scarica una campata di solaio di luce 4.70 m; su essa grava quindi una fascia di solaio ampia  $4.70/2+0.15 = 2.50$  m (inclusi 15 cm pari a metà larghezza della trave). La trave ha una luce di 3.60 m; sul pilastro scaricano quindi  $3.60/2+0.15 = 1.95$  m (compresi 15 cm pari a metà larghezza del pilastro 1). In definitiva scarica sul pilastro un'area di solaio pari a  $2.50 \times 1.95$  m<sup>2</sup>. Il coefficiente di continuità è pari a 1 sia per il solaio che per la trave, essendo per essi rispettivamente la trave 1-4 e il pilastro 1 appoggi di estremità.
- Trave:** Sul pilastro scarica metà delle campate 1-2 e 1-4, e quindi  $4.30/2=2.15$  m più  $3.60/2=1.80$  m.
- Tompagno:** Il tompagno viene per semplicità misurato da asse ad asse dei pi-

lastri (si potrebbe ridurre tale lunghezza prendendo una misura da filo a filo dei pilastri). Sul pilastro scarica metà del tom-pagno poggiato sulla trave 1-2 (privo di aperture) e metà di quello poggiante sulla trave 1-4 (il cui peso è moltiplicato per 0.9 per tener conto della presenza di una finestra).

#### Pilastro 12 - II-IV ordine

- Solaio:** Sulla trave 11-12-13 scarica una campata di solaio di luce 4.20 m e quindi una fascia di solaio ampia  $4.20/2+0.15 = 2.25$  m. Le campate di trave hanno una luce di 4.20 m e 3.60 m; sul pilastro scaricano quindi  $(4.20+3.60)/2 = 3.90$  m di trave. In definitiva scarica sul pilastro un'area di solaio pari a  $2.25 \times 3.90 \text{ m}^2$ . Esiste un coefficiente di continuità per la trave, pari a 1.1 perché il pilastro 12 è il penultimo appoggio di uno schema di trave a molte campate.
- Sbalzo:** Lo sbalzo ha luce 1.50 m e scarica sulla trave 11-12-13 di cui già si è detto. L'area di sbalzo gravante sul pilastro è  $1.50 \times 3.90$  m e va moltiplicata per il coefficiente 1.1 di continuità della trave.
- Trave:** Sul pilastro scaricano la trave emergente 11-13 e la trave a spessore 19-12. La lunghezza della prima, 3.90 m, deve essere moltiplicata per il coefficiente di continuità 1.1, mentre per la seconda il coefficiente è pari a 1 perché il pilastro 12 è per essa un appoggio di estremità.
- Tompagno:** La lunghezza 3.90 viene ridotta per 0.8 a causa della presenza di aperture ed amplificata per 1.1 per la continuità della trave.

Nelle pagine che seguono è riportata sinteticamente l'analisi dei carichi su tutti i pilastri dell'edificio. Per ciascuno di essi sono riportate più righe, relative ai singoli carichi unitari. Ogni riga è divisa in tre parti: la prima è riservata ai conteggi parziali; la seconda contiene la superficie (o lunghezza) totale gravante sul pilastro; la terza il carico corrispondente, ottenuto moltiplicando il valore della seconda parte per il relativo carico unitario. Nell'elencare i valori parziali si sono presi sempre in considerazione prima gli elementi, o le misure, paralleli a x, poi quelli paralleli a y. Quando si sono indicati due coefficienti di continuità, il primo è riferito al solaio ed il secondo alla trave. Tutti i valori del carico sono espressi in tonnellate.

pilastro 1 - V ordine				pilastro 1 - I-IV ordine			
solaio	2.50x1.95	4.88	3.03	2.50x1.95	4.88	3.42	
sbalzo	4.85x0.40	1.94	0.95		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	2.15+1.80	3.95	1.38	2.15+1.80	3.95	1.66	
tompagno		—	—	2.15+1.80x0.9	3.77	2.26	
TOTALE			5.36				7.34

pilastro 2 - V ordine				pilastro 2 - I-IV ordine			
solaio	4.40x1.95	8.58	5.32	4.40x1.95	8.58	6.01	
sbalzo	4.40x0.40	1.76	0.86		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	4.05x1.2+1.80	6.66	2.33	4.05x1.2+1.80	6.66	2.80	
tompagno		—	—	4.15	4.15	2.49	
TOTALE			8.51				11.30

pilastro 3 - V ordine				pilastro 3 - I-IV ordine			
solaio	2.05x1.95	4.00	2.48	2.05x1.95	4.00	2.80	
sbalzo	4.60x0.40	1.84	0.90		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	1.90+1.80	3.70	1.30	1.90+1.80	3.70	1.55	
tompagno		—	—	1.90+1.80x0.9	3.52	2.11	
TOTALE			4.68				6.46

pilastro 4 - V ordine				pilastro 4 - I-IV ordine			
solaio	2.50x3.80x1.1	10.45	6.48	2.50x3.80x1.1	10.45	7.32	
sbalzo	3.80x0.40	1.52	0.74		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	2.35	2.35	1.84	2.35	2.35	2.13	
tompagno	3.80x1.1	4.18	—	3.80x1.1	4.18	—	
		—	—	3.80x0.9	3.42	2.05	
TOTALE			9.06				11.50

pilastro 5 - V ordine				pilastro 5 - I-IV ordine			
solaio	4.25x3.65x1.2x1.1	20.48	12.70	4.25x3.65x1.2x1.1	20.48	14.34	
sbalzo		—	—		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	4.25x1.2	5.10	2.22	4.25x1.2	5.10	2.50	
tompagno	3.65x1.1	4.02	—	3.65x1.1	4.02	—	
		—	—		—	—	
TOTALE			14.92				16.84

pilastro 6 - V ordine				pilastro 6 - I-IV ordine		
solaio	2.05x3.65x1.1	8.23	5.10	2.05x3.65x1.1	8.23	5.76
sbalzo	3.65x0.40	1.46	0.72	—	—	—
scala	—	—	—	—	—	—
trave	1.90	1.90	1.71	1.90	1.90	1.99
	3.65x1.1	4.02	—	3.65x1.1	4.02	—
tompagno	—	—	—	3.65x0.85	3.10	1.86
TOTALE		7.53	—		9.61	—

pilastro 7 - V ordine				pilastro 7 - I-IV ordine		
solaio	2.50x3.90	9.75	6.05	2.50x3.90	9.75	6.83
sbalzo	3.20x0.40	1.56	0.76	—	—	—
scala	—	—	—	—	—	—
trave	2.35	2.35	1.74	2.35	2.35	2.01
	3.90	3.90	—	3.90	3.90	—
tompagno	—	—	—	3.90x0.9	3.51	2.11
TOTALE		8.55	—		10.95	—

pilastro 8 - V ordine				pilastro 8 - I-IV ordine		
solaio	4.25x3.90x1.2	19.89	12.33	4.25x3.90x1.2	19.89	13.92
sbalzo	—	—	—	—	—	—
scala	—	—	—	—	—	—
trave	4.25x1.1	4.68	2.11	4.25x1.1	4.68	2.39
	3.90	3.90	—	3.90	3.90	—
tompagno	—	—	—	—	—	—
TOTALE		14.44	—		16.31	—

pilastro 9 - VI ordine				pilastro 9 - V ordine		
solaio	1.65x2.30	3.80	1.67	2.95x3.90-1.50x1.50	5.75	3.57
sbalzo	2.20x2.05+3.85x0.40	6.05	2.96	1.50x0.40	1.60	0.29
scala	—	—	—	1.35x2.30	3.11	2.79
trave	1.45+2.05	3.50	1.23	1.35+1.00	2.95	2.34
				1.45+3.90	5.35	—
tompagno	—	—	—	(3.40+2.05)x0.9	4.91	2.95
TOTALE		5.86	—		11.94	—

pilastro 9 - I-IV ordine				pilastro 10 - VI ordine		
solaio	2.05x3.90-1.50x1.50	5.75	4.03	1.65x2.30	3.80	1.67
sbalzo	—	—	—	4.35x0.40	1.74	0.85
scala	1.35x2.30	3.11	2.79	—	—	—
trave	1.35+1.00	2.95	2.72	1.45+2.15	3.60	1.26
	1.45+3.90	5.35	—			
tompagno	(3.40+3.90)x0.9	6.57	3.94	—	—	—
TOTALE		13.48	—		3.78	—



pilastro 10 - V° ordine				pilastro 10 - II-IV ordine			
solaio	1.70x2.25	3.83	2.37	1.70x2.25	3.83	2.68	
sbalzo	1.70x1.40	2.38	1.17	1.70x1.40	2.38	1.95	
scala	1.35x2.30	3.11	2.79	1.35x2.30	3.11	2.79	
trave	3.10+2.15	5.25	1.84	3.10+2.15	5.25	2.21	
tompagno	(1.35+2.15)x0.9	3.15	1.89	(3.10+2.15)x0.9	4.73	2.84	
TOTALE			10.06				12.47

pilastro 10 - I ordine				pilastro 11 - V ordine			
solaio	1.70x2.25	3.83	2.68	3.75x2.25	8.44	5.23	
sbalzo		—	—	3.75x1.40	5.25	2.57	
scala	1.35x2.30	3.11	2.79		—	—	
trave	3.10+2.15	5.25	2.21	3.75	3.75	1.65	
tompagno	(3.10+2.15)x0.9	4.73	2.84	2.10	2.10	—	
TOTALE			10.52				9.45

pilastro 11 - II-IV ordine				pilastro 11 - I ordine			
solaio	3.75x2.25	8.44	5.91	3.75x2.25	8.44	5.91	
sbalzo	3.75x1.40	5.25	4.31		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	3.75	3.75	1.91	3.75	3.75	1.91	
	2.10	2.10	—	2.10	2.10	—	
tompagno	3.75x0.8	3.00	1.80	3.75x0.9	3.38	2.03	
TOTALE			13.93				9.85

pilastro 12 - V ordine				pilastro 12 - II-IV ordine			
solaio	3.90x2.25x1.1	9.65	5.98	3.90x2.25x1.1	9.65	6.76	
sbalzo	3.90x1.40x1.1	6.01	2.94	3.90x1.40x1.1	6.01	4.93	
scala		—	—		—	—	
trave	3.90x1.1	4.29	1.84	3.90x1.1	4.29	2.14	
	2.10	2.10	—	2.10	2.10	—	
tompagno		—	—	3.90x0.8x1.1	3.43	2.06	
TOTALE			10.76				15.89

pilastro 12 - I ordine				pilastro 13 - V ordine			
solaio	2.90x2.25x1.1	9.65	6.76	1.95x2.25	4.39	2.72	
sbalzo		—	—	1.95x1.40+2.80x0.40	3.85	1.89	
scala		—	—		—	—	
trave	3.90x1.1	4.29	2.14	1.80+2.05	3.85	1.35	
	2.10	2.10	—		—	—	
tompagno	3.90x0.9x1.1	3.86	2.32		—	—	
TOTALE			11.21				5.96

pilastro 13 - II-IV ordine				pilastro 13 - I ordine			
solaio	1.95x2.25	4.39	3.07	1.95x2.25	4.39	3.07	
sbalzo	1.95x1.40	2.73	2.24		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	1.80+2.05	3.85	1.62	1.80+2.05	3.85	1.62	
tompagno	1.80x0.8+2.05	3.49	2.09	1.80x0.9+2.05	3.67	2.20	
TOTALE			9.02			6.89	

pilastro 14 - V ordine				pilastro 14 - II-IV ordine			
solaio	2.50x4.05x1.1	11.14	6.91	2.50x4.05x1.1	11.14	7.80	
sbalzo	(1.40x2.10+0.40x x1.95)x1.1	4.09	2.00	1.40x2.10x1.1	3.23	2.65	
scala		—	—		—	—	
trave	2.35	2.35	1.94	2.35	2.35	2.25	
tompagno	4.05x1.1	4.46	—	4.05x1.1	4.46	—	
		—	—	4.05x0.9	3.65	2.19	
TOTALE			10.85			14.89	

pilastro 14 - I ordine				pilastro 15 - V ordine			
solaio	2.50x4.05x1.1	11.14	7.80	4.25x4.20x1.15x1.1	22.58	14.00	
sbalzo		—	—		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	2.35	2.35	2.25	4.25x1.1	4.68	2.37	
	4.05x1.1	4.46	—	4.20x1.1	4.62	—	
tompagno	4.05x0.95	3.85	2.31		—	—	
TOTALE			12.36			16.37	

pilastro 15 - II-IV ordine				pilastro 15 - I ordine			
solaio	4.25x4.20x1.15x1.1	22.58	15.81	4.25x4.20x1.2x1.1	23.56	16.49	
sbalzo		—	—		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	4.25x1.1	4.68	2.69	4.25x1.1	4.68	2.69	
	4.20x1.1	4.62	—	4.20x1.1	4.62	—	
tompagno		—	—		—	—	
TOTALE			18.50			19.18	

pilastro 16 - VI ordine				pilastro 16 - V ordine			
solaio	1.65x4.20x1.2	8.32	3.66	2.05x4.20x1.1	9.47	5.87	
sbalzo	(1.20+0.40x4.20)x1.2	3.46	1.70		—	—	
scala		—	—	1.35x4.20x1.1	6.24	5.62	
trave	1.50	1.50	2.00	3.90	3.90	2.24	
	4.20x1.2	5.04	—	4.20x1.1	4.62	—	
tompagno		—	—	(4.90+0.90)x1.1	5.61	3.37	
TOTALE			7.36			17.10	

pilastro 16 - I-IV ordine				pilastro 17 - VI ordine			
solaio	2.05x4.20x1.1	9.47	6.63	1.65x4.20x1.2	8.32	3.66	
sbalzo		—	—	0.40x4.20x1.2	2.02	0.99	
scala	1.35x4.20x1.1	6.24	5.62		—	—	
trave	3.90	3.90	2.56	1.50	1.50	2.00	
	4.20x1.1	4.62		4.20x1.2	5.04		
tompagno	(4.90+0.90)x1.1	5.61	3.37		—	—	
TOTALE			18.18			6.65	

pilastro 17 - V ordine				pilastro 17 - II-IV ordine			
solaio	1.75x4.30x1.05	7.90	4.90	1.75x4.30x1.05	7.90	5.53	
sbalzo		—	—		—	—	
scala	1.35x2.10x1.2	3.40	3.06	1.35x4.20x1.2	6.80	6.12	
trave	1.50	1.50	2.56	1.50	1.50	3.03	
	4.20x1.2+1.60	6.64		4.20x1.2+1.60	6.64		
tompagno	4.20x0.9x1.2	4.54	2.72	4.20x0.9x1.2	4.54	2.72	
TOTALE			13.24			17.40	

pilastro 17 - I ordine				pilastro 18 - V ordine			
solaio	1.75x4.30x1.2	9.03	6.32	3.70x4.30x1.05	16.71	10.36	
sbalzo		—	—		—	—	
scala	1.35x4.20x1.2	6.80	6.12		—	—	
trave	1.50	1.50	3.03	3.70	3.70	2.12	
	4.20x1.2+1.60	6.64		4.30x1.2	5.16		
tompagno	4.20x0.9x1.2	4.54	2.72		—	—	
TOTALE			18.19			12.48	

pilastro 18 - II-IV ordine				pilastro 18 - I ordine			
solaio	3.70x4.30x1.05	16.71	11.70	3.70x4.30x1.2	19.09	13.36	
sbalzo		—	—		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	3.70	3.70	2.38	3.70	3.70	2.38	
	4.30x1.2	5.16		4.30x1.2	5.16		
tompagno		—	—		—	—	
TOTALE			14.08			15.74	

pilastro 19 - V ordine				pilastro 19 - II-IV ordine			
solaio	3.90x4.30x1.05x1.1	18.37	12.01	3.90x4.30x1.05x1.1	19.37	13.56	
sbalzo		—	—		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	3.90x1.1	4.29	2.33	3.90x1.1	4.29	2.63	
	4.30x1.2	5.16		4.30x1.2	5.16		
tompagno		—	—		—	—	
TOTALE			14.34			16.19	

pilastro 19 - I ordine				pilastro 20 - V ordine			
solaio	3.90x4.30x1.2x1.1	22.14	15.50	1.95x4.30x1.05	8.80	5.46	
sbalzo		—	—	(1.40x2.00+0.40x x2.30)x1.2	4.46	2.19	
scala		—	—		—	—	
trave	3.90x1.1	4.29	2.63	1.80+4.30x1.2	6.96	2.44	
	4.30x1.2	5.16					
tompagno		—	—		—	—	
TOTALE			18.13				10.09

pilastro 20 - II-IV ordine				pilastro 20 - I ordine			
solaio	1.95x4.30x1.05	8.80	6.16	1.95x4.30x1.2	10.06	7.04	
sbalzo	1.40x2.00x1.2	3.36	2.76		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	1.80+4.30x1.2	6.96	2.92	1.80+4.30x1.2	6.96	2.92	
tompagno	4.30x1.2	5.16	3.10	4.30x1.2	5.16	3.10	
TOTALE			14.94				13.06

pilastro 21 - V ordine				pilastro 21 - II-IV ordine			
solaio	2.50x2.30	5.75	3.57	2.50x2.30	5.75	4.03	
sbalzo	(2.50+2.30+1.40)x x1.40	8.68	4.25	(2.50+2.30+1.40)x x1.40	8.68	7.12	
scala		—	—		—	—	
trave	2.15+2.15	4.30	1.51	2.15+2.15	4.30	1.81	
tompagno		—	—	4.30x0.8	3.44	2.06	
TOTALE			9.33				15.02

pilastro 21 - I ordine				pilastro 22 - V ordine			
solaio	2.50x2.30	5.75	4.03	4.25x2.30x1.1	10.75	6.67	
sbalzo		—	—	4.25x1.40x1.2	7.14	3.50	
scala		—	—		—	—	
trave	2.15+2.15	4.30	1.81	4.05x1.2+2.15	7.01	2.45	
tompagno	4.30x0.9	3.87	2.32		—	—	
TOTALE			8.16				12.62

pilastro 22 - II-IV ordine				pilastro 22 - I ordine			
solaio	4.25x2.30x1.1	10.75	7.53	4.25x2.30x1.2	11.73	8.21	
sbalzo	4.25x1.40x1.2	7.14	5.85		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	4.05x1.2+2.15	7.01	2.94	4.05x1.2+2.15	7.01	2.94	
tompagno	4.05x0.8x1.2	3.89	2.33	4.05x0.9x1.2	4.37	2.62	
TOTALE			18.65				13.77

pilastro 23 - VI ordine				pilastro 23 - V ordine		
solaio	1.65x2.30	3.80	1.67	2.05x2.30	4.72	2.93
sbalzo	(1.65+2.30+0.40)x x0.40	1.74	0.85	2.25x1.40	3.15	1.54
scala	—	—	—	1.35x2.30	3.11	2.80
trave	1.50+2.15	3.65	1.28	3.50+2.15	5.65	1.98
tompagno	—	—	—	3.50x0.9+2.15	5.30	3.18
TOTALE			3.80			12.43

pilastro 23 - II-IV ordine				pilastro 23 - I ordine		
solaio	2.05x2.30	4.72	3.30	2.05x3.30	4.72	3.30
sbalzo	2.25x1.40	3.15	2.58	—	—	—
scala	1.35x2.30	3.11	2.80	1.35x2.30	3.11	2.80
trave	3.50+2.15	5.65	2.37	3.50+2.15	5.65	2.37
tompagno	3.50x0.9+2.15	5.30	3.18	3.50x0.9+2.15	5.30	3.18
TOTALE			14.23			11.65

pilastro 24 - VI ordine				pilastro 24 - V ordine		
solaio	1.65x2.30	3.80	1.67	1.75x2.35	4.11	2.55
sbalzo	(1.65+2.30+0.40)x x0.40	1.74	0.85	1.75x1.40	2.45	1.20
scala	—	—	—	1.35x2.30/4	0.78	0.70
trave	1.50+2.15	3.65	1.28	3.20+2.05	5.25	1.84
tompagno	—	—	—	3.20x0.9+2.05	4.93	2.96
TOTALE			3.80			9.25

pilastro 24 - II-IV ordine				pilastro 24 - I ordine		
solaio	1.75x2.35	4.11	2.88	1.75x2.35	4.11	2.88
sbalzo	1.75x1.40	2.45	2.01	—	—	—
scala	1.35x2.30	3.11	2.80	1.35x2.30	3.11	2.80
trave	3.20+2.05	5.25	2.21	3.20+2.05	5.25	2.21
tompagno	3.20x0.9+2.05	4.93	2.96	3.20x0.9+2.05	4.93	2.96
TOTALE			12.86			10.85

pilastro 25 - V ordine				pilastro 25 - II-IV ordine		
solaio	3.70x2.35	8.70	5.39	3.70x2.35	8.70	6.09
sbalzo	3.70x1.40	5.18	2.54	3.70x1.40	5.18	4.25
scala	—	—	—	—	—	—
trave	3.70	3.70	1.65	3.70	3.70	1.91
	2.20	2.20	—	2.20	2.20	—
tompagno	—	—	—	3.70x0.9	3.33	2.00
TOTALE			9.58			14.25

pilastro 25 - I ordine				pilastro 26 - V ordine			
solaio	3.70x2.35	8.70	6.09	3.90x2.35x1.1	10.08	6.25	
sbalzo		—	—	3.90x1.40x1.1	6.01	2.94	
scala		—	—		—	—	
trave	3.70	3.70	1.91	3.90x1.1	4.29	1.85	
	2.20	2.20		2.20	2.20		
tompagno	3.70x0.95	3.52	2.11		—	—	
TOTALE			10.11				11.04

pilastro 26 - II-IV ordine				pilastro 26 - I ordine			
solaio	3.90x2.35x1.1	10.08	7.06	3.90x2.35x1.1	10.08	7.06	
sbalzo	3.90x1.40x1.1	6.01	4.93		—	—	
scala		—	—		—	—	
trave	3.90x1.1	4.29	2.15	3.90x1.1	4.29	2.15	
	2.20	2.20		2.20	2.20		
tompagno	3.90x0.9x1.1	3.86	2.32	3.90x0.95x1.1	4.08	2.45	
TOTALE			16.46				11.66

pilastro 27 - V ordine				pilastro 27 - II-IV ordine			
solaio	4.40x1.95	8.58	5.22	4.40x1.95	8.58	6.01	
solaio	1.95x2.35	4.58	2.84	1.95x2.35	4.58	3.21	
sbalzo	(1.95+2.35+1.40)x x1.40	7.98	3.91	(1.95+2.35+1.40)x x1.40	7.98	6.54	
scala		—	—		—	—	
trave	1.80+1.20	4.00	1.40	1.80+2.20	4.00	1.68	
tompagno		—	—	4.00x0.9	3.60	2.16	
TOTALE			8.15				13.59

pilastro 27 - I ordine			
solaio	1.95x2.35	4.58	3.21
sbalzo		—	—
scala		—	—
trave	1.80+2.20	4.00	1.68
tompagno	4.00x0.95	3.80	2.28
TOTALE			7.17

Utilizzando i valori ora calcolati del carico sui pilastri, nonché quelli del peso proprio riportati nel capitolo 4, si è determinato lo sforzo normale massimo provocato dai carichi verticali al piede dei pilastri ai diversi ordini. I valori ottenuti, espressi in tonnellate, sono riportati nella seguente tabella.

pilastro	VI	V	IV	III	II	I
1	—	6.72	15.42	24.12	32.82	41.73
2	—	9.87	22.53	35.19	47.85	60.72
3	—	6.04	13.86	21.68	29.50	37.53
4	—	10.42	23.28	36.14	49.00	62.07
5	—	16.28	34.48	52.68	70.88	89.29
6	—	8.89	19.86	30.83	41.80	52.98
7	—	9.91	22.22	34.53	46.84	59.36
8	—	15.80	33.47	51.14	68.81	86.69
9	6.64	19.94	34.78	49.62	64.46	79.51
10	4.56	15.98	29.81	43.64	57.47	69.56
11	—	10.81	26.10	41.39	56.68	68.10
12	—	12.12	29.37	46.62	63.87	76.65
13	—	7.32	17.70	28.08	38.46	46.92
14	—	12.21	28.46	44.71	60.96	74.89
15	—	17.73	37.59	57.45	77.31	98.06
16	8.14	26.60	46.14	65.68	85.22	104.97
17	7.43	22.03	40.79	59.55	78.31	98.07
18	—	13.84	29.28	44.72	60.16	77.47
19	—	15.70	33.25	50.80	68.35	88.05
20	—	11.45	27.75	44.05	60.35	74.98
21	—	10.69	27.07	43.45	59.83	69.56
22	—	13.98	33.99	54.00	74.01	89.35
23	4.58	18.37	33.96	49.55	65.14	78.36
24	4.58	15.19	29.41	43.63	57.85	70.27
25	—	10.94	26.55	42.16	57.77	69.45
26	—	12.40	30.22	48.04	65.86	79.09
27	—	9.51	24.46	39.41	54.36	63.10

I valori delle superfici o lunghezze gravanti sui pilastri, determinati in precedenza, possono essere utilizzati anche per determinare il minimo sforzo normale, purché moltiplicati per il solo carico fisso anziché quello totale.

La differenza tra sforzo normale minimo e massimo in un pilastro è tanto maggiore quanto più elevata è l'aliquota dei sovraccarichi gravanti su esso. A titolo di esempio si possono esaminare due situazioni tipiche. Il pilastro 1, d'angolo, è soggetto principalmente a carichi fissi (tompagno e peso proprio degli elementi strutturali). Alla base lo sforzo normale minimo vale 36.64 t, cioè l'88% dello sforzo massimo. Il pilastro 12, invece, porta una ampia zona di sbalzo (per il quale circa la metà del carico è accidentale). Lo sforzo normale minimo alla base vale 59.18 t, cioè il 77% di quello massimo.

In definitiva, nel caso in esame si ritiene sufficientemente cautelativo assumere come sforzo normale minimo provocato dai carichi verticali un'aliquota di quello massimo, pari a circa il 70%.





## CAPITOLO VII

### LE AZIONI ORIZZONTALI

#### 7.1. Massa dell'impalcato.

Si riporta di seguito l'analisi delle masse (o pesi) totali in corrispondenza di ciascun impalcato.

##### VI IMPALCATO - torrino scale

solaio	36.0 m <sup>2</sup>	13.32 t	132.2 kN
cornicione	12.0 m	5.04 t	50.4 kN
travi 30x50	24 m	8.40 t	84.0 kN
travi a spessore	3 m	0.48 t	4.8 kN
tompagno inf.	27 m x 0.5	8.10 t	81.0 kN
pilastrini inf. 30x40	6 x 0.5	2.34 t	23.4 kN
TOTALE		37.68 t	376.8 kN

##### V IMPALCATO - copertura

solaio	239.2 m <sup>2</sup>	117.21 t	1172.1 kN
sbalzi	60.3 m <sup>2</sup>	25.33 t	253.3 kN
cornicione	13.3 m <sup>2</sup>	5.59 t	55.9 kN
scala	19.1 m <sup>2</sup>	17.19 t	171.9 kN
travi 30x50	121 m	42.35 t	423.5 kN
travi 60x22	50 m	8.00 t	80.0 kN
tompagno sup.	27 m x 0.5	8.10 t	81.0 kN
tompagno inf.	0.9x86 m x 0.5	23.22 t	232.2 kN
tramezzi inf.	0.8x78 m x 0.5	9.36 t	93.6 kN
pilastrini sup. 30x40	6 x 0.5	2.34 t	23.4 kN
pilastrini inf. 30x70	27 x 0.5	18.36 t	183.6 kN
TOTALE		277.05 t	2770.5 kN

IV, III, II IMPALCATO - piano tipo

solaio	239.2 m <sup>2</sup>	112.42 t	1124.2 kN
sbalzi	60.3 m <sup>2</sup>	33.17 t	331.7 kN
scala	24.0 m <sup>2</sup>	21.60 t	216.0 kN
travi 30x60	121 m	50.82 t	508.2 kN
travi 60x22	50 m	8.00 t	80.0 kN
tompagno sup.	0.9x86 m x 0.5	23.22 t	232.2 kN
tompagno inf.	0.9x86 m x 0.5	23.22 t	232.2 kN
tramezzi sup.	0.8x78 m x 0.5	9.36 t	93.6 kN
tramezzi inf.	0.8x78 m x 0.5	9.36 t	93.6 kN
pilastrini sup. 30x70	27 x 0.5	18.36 t	183.6 kN
pilastrini inf. 30x70	27 x 0.5	18.36 t	183.6 kN
<b>TOTALE</b>		<b>327.89 t</b>	<b>3278.9 kN</b>

I IMPALCATO - piano terra

solaio	239.2 m <sup>2</sup>	112.42 t	1124.2 kN
scala	24.0 m <sup>2</sup>	21.60 t	216.0 kN
travi 30x60	121 m	50.82 t	508.2 kN
travi 60x22	50 m	8.00 t	80.0 kN
tompagno sup.	0.9x86 m x 0.5	23.22 t	232.2 kN
tompagno inf.	0.9x86 m x 0.5	23.22 t	232.2 kN
tramezzi sup.	0.8x78 m x 0.5	9.36 t	93.6 kN
tramezzi inf.	0.8x78 m x 0.5	9.36 t	93.6 kN
pilastrini sup. 30x70	27 x 0.5	18.36 t	183.6 kN
pilastrini inf. 30x70	27 x 0.5	21.20 t	212.0 kN
<b>TOTALE</b>		<b>297.56 t</b>	<b>2975.6 kN</b>

Per un controllo di massima dei valori ottenuti, si calcola il peso medio a metro quadro di impalcato. Si ottiene:

impalcato	superficie	peso medio	
VI	48.0 m <sup>2</sup>	790 kgm <sup>-2</sup>	7.9 kNm <sup>-2</sup>
V	331.9 m <sup>2</sup>	830 kgm <sup>-2</sup>	8.3 kNm <sup>-2</sup>
IV,III,II	323.5 m <sup>2</sup>	1010 kgm <sup>-2</sup>	10.1 kNm <sup>-2</sup>
I	263.2 m <sup>2</sup>	1130 kgm <sup>-2</sup>	11.3 kNm <sup>-2</sup>

Questi valori sono logici (minori in copertura, maggiori al piano tipo, massimi al piano terra) e rientrano sostanzialmente nei limiti orientativi indicati nella prima parte del testo.

## 7.2. Baricentro delle masse.

Per individuare la posizione planimetrica del baricentro delle masse, si utilizza un sistema di riferimento cartesiano ortogonale x-y, la cui origine è posta nello spigolo inferiore sinistro del fabbricato (e del pilastro 21), l'asse x è orientato da sinistra verso destra e l'asse y dal basso verso l'alto.

Sulla base delle considerazioni fatte nella prima parte, si assume che il baricentro delle masse di ciascun impalcato coincida con il baricentro geometrico dell'impalcato stesso.

Questo può essere agevolmente calcolato scomponendo la figura in più rettangoli (ed eventualmente anche triangoli, quando non tutti i lati della pianta sono paralleli agli assi coordinati). Per ciascuno di essi è determinabile l'area e la posizione del baricentro, e quindi anche il momento statico rispetto agli assi. Le coordinate del baricentro globale della figura si otterranno come rapporto tra la somma dei momenti statici e la somma delle aree.

In alternativa, la pianta può essere scomposta in triangoli, congiungendo ciascuno spigolo con un punto assegnato (per esempio l'origine degli assi). L'area ed il baricentro di ogni triangolo sono esprimibili analiticamente in funzione delle coordinate dei suoi vertici. Da esse può quindi ottenersi l'area totale e la posizione del baricentro dell'intera figura. Questo secondo procedimento comporta una maggiore quantità di calcoli e non è consigliabile per una applicazione manuale; esso però è facilmente automatizzabile e può essere vantaggiosamente adottato da chi usa un personal computer o anche solo una calcolatrice programmabile.

Si riporta di seguito il dettaglio dei calcoli svolti per determinare la posizione del baricentro del sesto e del quinto impalcato. Per ciascuno di essi un disegno in scala mostra gli assi coordinati, il contorno della figura, i rettangoli in cui essa è stata scomposta (2 per il sesto impalcato, 6 per il quinto), nonché la posizione del suo baricentro. Si noti, in particolare, che nel caso del quinto impalcato si è adottata una suddivisione che prevede un'area negativa (la sesta) per diminuire il numero di rettangoli necessari.

I valori delle coordinate del baricentro degli altri impalcati sono stati invece ottenuti mediante il programma illustrato nella terza parte del testo. Anche per essi si riporta un disegno in scala, contenente il contorno della figura e la posizione del suo baricentro, per consentirne la visualizzazione ed un controllo "ad occhio".

VI IMPALCATO - torrino scale

rettangolo	lato x	lato y	Area (m <sup>2</sup> )	Baricentro		Momento statico	
	(m)	(m)		x(m)	y(m)	S <sub>y</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>x</sub> (m <sup>3</sup> )
1	1.80	3.50	6.30	7.10	7.55	44.73	47.57
2	4.30	9.70	41.71	10.15	4.45	423.36	185.61
TOTALE			48.01			468.09	233.18

Coordinate del baricentro:

$$x = 468.09 / 48.01 = 9.75 \text{ m}$$

$$y = 233.18 / 48.01 = 4.86 \text{ m}$$

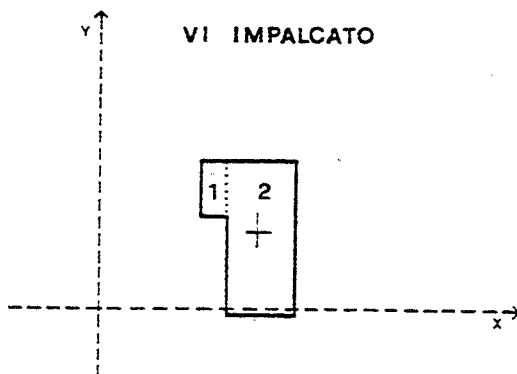


FIG.10

V IMPALCATO - copertura

rettangolo	lato x	lato y	Area (m <sup>2</sup> )	Baricentro		Momento statico	
	(m)	(m)		x(m)	y(m)	S <sub>y</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>x</sub> (m <sup>3</sup> )
1	9.60	12.00	115.20	4.40	10.40	506.88	1198.08
2	2.30	4.50	10.35	10.35	6.65	107.12	68.83
3	11.30	5.90	66.67	17.15	7.35	1143.39	490.02
4	0.40	4.90	1.96	23.00	6.85	45.08	13.43
5	25.60	5.80	148.48	11.40	1.50	1692.67	222.72
6	2.70	1.40	-3.78	10.15	-0.70	-38.37	2.65
TOTALE			338.88			3456.77	1995.73

Coordinate del baricentro:

$$x = 3456.77 / 338.88 = 10.20 \text{ m}$$

$$y = 1995.73 / 338.88 = 5.89 \text{ m}$$

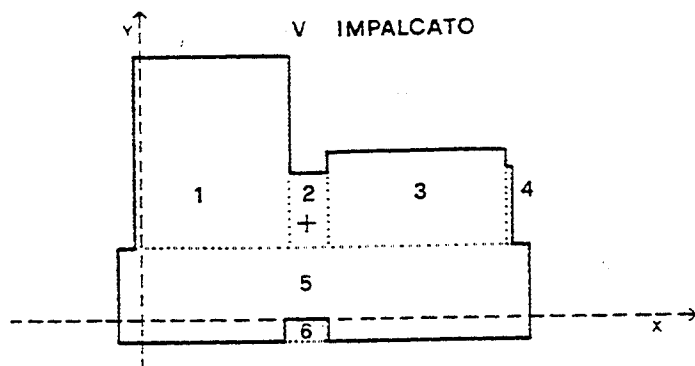


FIG.11

IV, III, II IMPALCATO - piano tipo

Coordinate del baricentro:

$$\bar{x} = 10.35 \text{ m}$$

$$y = 5.64 \text{ m}$$

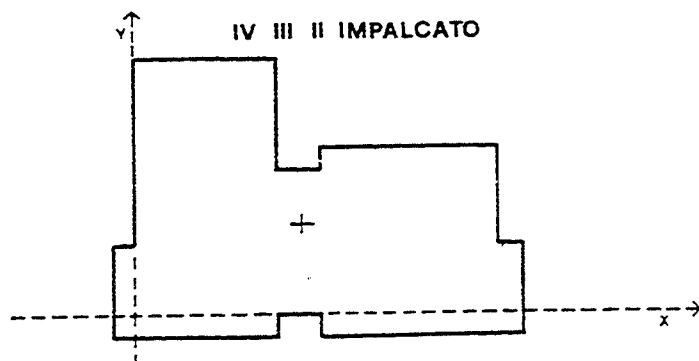


FIG.12

I IMPALCATO - piano terra

Coordinate del baricentro:

$$x = 9.75 \text{ m}$$

$$y = 6.33 \text{ m}$$

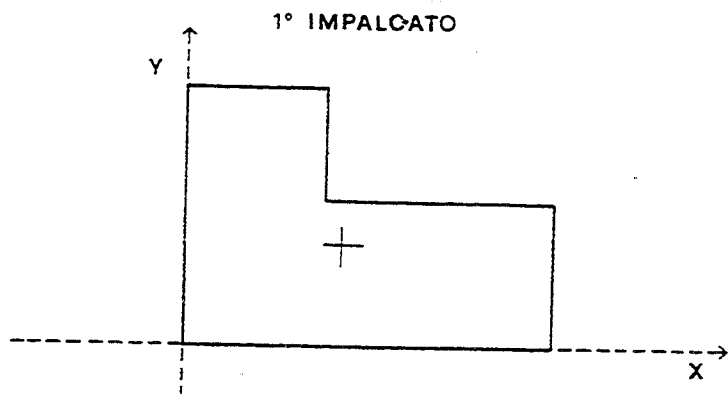


FIG.13

### 7.3. Forze orizzontali.

I coefficienti che definiscono lo spettro di risposta in termini di accelerazione orizzontale valgono:

- $C = 0.07$  perché l'edificio è sito in zona con grado di sismicità  $S=9$ ;
- $R = 1$  perché non si è espressamente valutato il periodo proprio di oscillazione della struttura;
- $\epsilon = 1$  perché il terreno su cui gravano le fondazioni dell'edificio non è particolarmente comprimibile;
- $\beta = 1$  perché l'edificio ha una struttura intelaiata senza pareti irrigidenti;
- $I = 1$  perché l'edificio è destinato ad uso abitativo.

Le quote degli impalcati rispetto allo spiccatto di fondazione ed i loro pesi totali valgono:

piano 6	$h = 19.60 \text{ m}$	$W = 37.68 \text{ t}$	376.8 kN
piano 5	$h = 16.40 \text{ m}$	$W = 277.05 \text{ t}$	2770.5 kN
piano 4	$h = 13.20 \text{ m}$	$W = 327.89 \text{ t}$	3278.9 kN
piano 3	$h = 10.00 \text{ m}$	$W = 327.89 \text{ t}$	3278.9 kN
piano 2	$h = 6.80 \text{ m}$	$W = 327.89 \text{ t}$	3278.9 kN
piano 1	$h = 3.60 \text{ m}$	$W = 297.56 \text{ t}$	2975.6 kN

Applicando le formule previste dal regolamento per l'analisi statica, si ottengono i seguenti valori:

piano 6	$\gamma = 1.932$	$F = 5.10 \text{ t}$	51.0 kN
piano 5	$\gamma = 1.617$	$F = 31.35 \text{ t}$	313.5 kN
piano 4	$\gamma = 1.301$	$F = 29.87 \text{ t}$	298.7 kN
piano 3	$\gamma = 0.986$	$F = 22.63 \text{ t}$	226.3 kN
piano 2	$\gamma = 0.670$	$F = 15.39 \text{ t}$	153.9 kN
piano 1	$\gamma = 0.355$	$F = 7.39 \text{ t}$	73.9 kN

Per un controllo della correttezza di applicazione delle formule, si calcola la somma dei pesi degli impalcati e la somma delle forze e si verifica che quest'ultima sia pari a  $C R \epsilon \beta I$  volte la prima.

Si ha :

Somma dei pesi degli impalcati	$SW = 1595.96 \text{ t}$	15959.6 kN
Somma delle forze orizzontali	$SF = 111.73 \text{ t}$	1117.3 kN
e inoltre:	$C R \epsilon \beta I \times SW = 111.72 \text{ t}$	1117.2 kN

L'uguaglianza è pertanto verificata, a meno degli inevitabili errori di arrotondamento.





## CAPITOLO VIII

### LO SCHEMA GEOMETRICO

#### 8.1. Interazione tra struttura in elevazione, fondazione e terreno.

La fondazione che si intende realizzare per l'edificio in esame, e che verrà analizzata dettagliatamente in seguito, si presenta sufficientemente rigida da consentire l'ipotesi che i suoi cedimenti verticali e rotazionali abbiano effetto trascurabile sulla struttura in elevazione. Si considera pertanto per quest'ultima un modello geometrico con vincoli fissi (incastrati perfetti) alla base. La correttezza dell'ipotesi ora effettuata andrà controllata una volta effettuata la risoluzione dello schema.

#### 8.2. La struttura in elevazione.

I pilastri sono sostanzialmente allineati in pianta nella direzione dei due assi  $x$  ed  $y$  già definiti nel capitolo precedente. Trascurando le interazioni flesso-torsionali tra travi perpendicolari e la deformazione estensionale dei pilastri, si schematizza la struttura con due insiemi di telai piani; 5 di essi sono paralleli alla direzione  $x$  e 7 alla direzione  $y$ .

Poiché la scala è realizzata mediante una soletta rampante, col pianerottolo di riposo che scarica su una trave posta a livello dell'impalcato, tutti i telai sono a maglie rettangolari. Il loro schema geometrico è riportato nelle due pagine seguenti (fig.14 e 15).

## TELAI IN DIREZIONE X

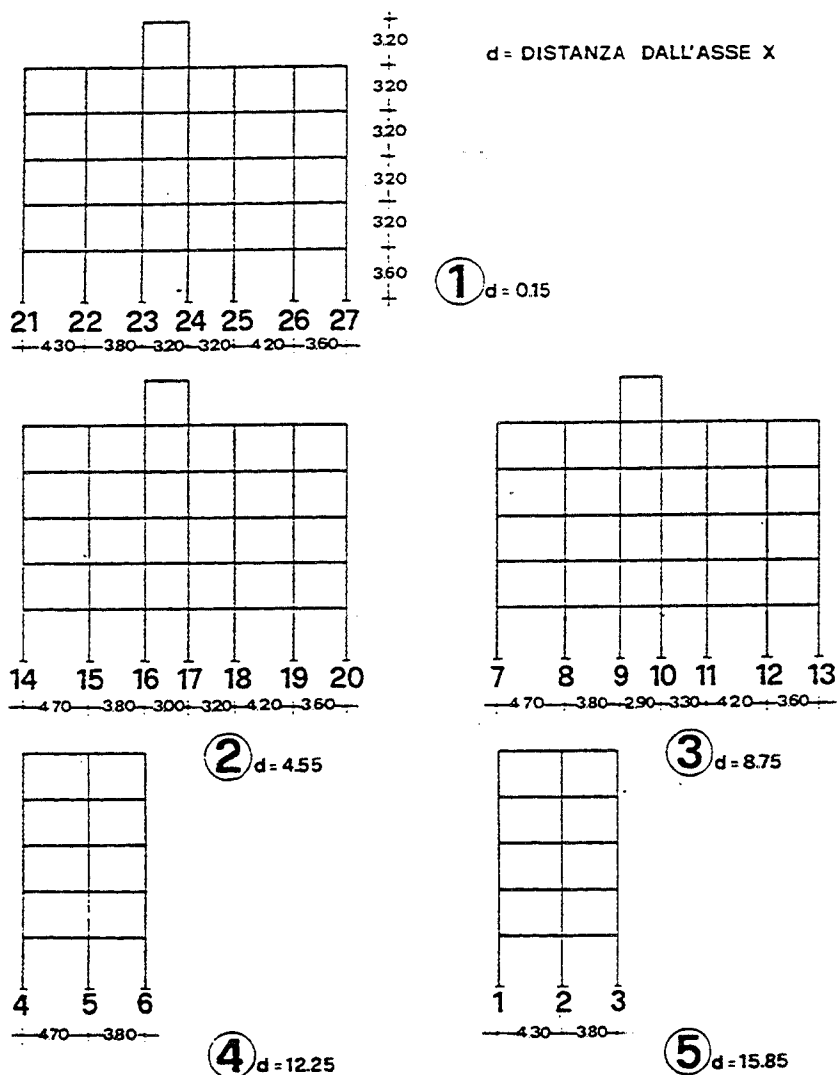


FIG.14

## TELAJ IN DIREZIONE Y

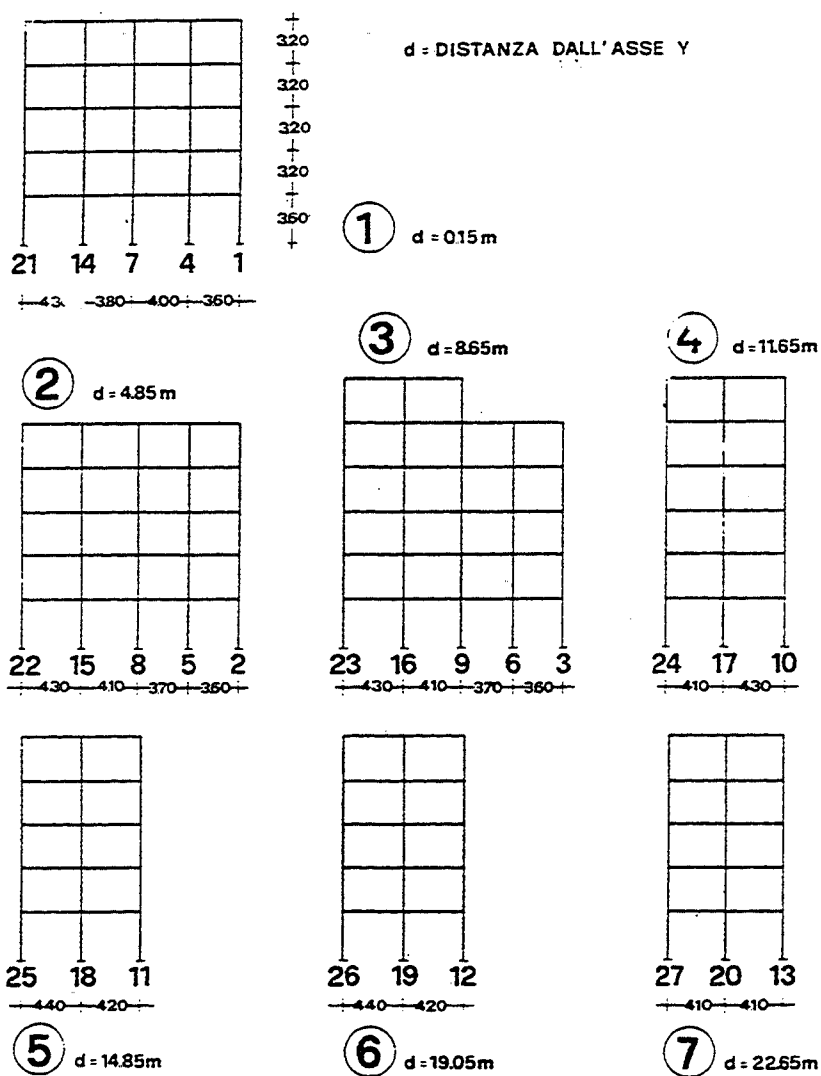


FIG.15

Le dimensioni delle aste sono state già definite nella fase iniziale. Occorre però ricordare che in adiacenza alle travi esiste sempre una fascia piena di solaio. È quindi più coerente assumere per essa una sezione a T. Non pochi progettisti adottano invece nel calcolo una sezione rettangolare. Il problema è più complesso di quanto possa apparire, perché nella realtà la sezione delle travi si parzializza per effetto della flessione ed il suo momento d'inerzia andrebbe a rigore calcolato tenendo conto della sola zona compressa, nonché delle armature. La schematizzazione a T comporta un maggior contributo delle travi e quindi maggiori sollecitazioni in esse, mentre alla scelta contraria consegue un incremento delle sollecitazioni di calcolo nei pilastri. Alla base della scelta si può perciò spesso vedere una maggiore preoccupazione del progettista nei riguardi delle travi o dei pilastri. In seguito si cercherà di quantizzare numericamente la differenza tra tali alternative. Nell'esempio in esame si opta per lo schema di sezione rettangolare.

Per ciascun telaio è indicata in figura anche la distanza dall'asse cui è parallelo. In realtà, gli assi dei pilastri che costituiscono ciascun telaio presentano in genere scarti modesti (dell'ordine di alcune decine di centimetri) rispetto ad un allineamento rigoroso in pianta. Si è pertanto valutata per il piano del telaio una posizione media, baricentrica rispetto ai momenti d'inerzia delle sezioni dei pilastri e quindi in pratica coincidente con quella dei pilastri di inerzia massima.

### 8.3. Gli elementi non strutturali.

I tompani ed i tramezzi sono realizzati con mattoni forati ed hanno quindi una rigidità non molto elevata. Per tale motivo si ritiene corretto non tenerne espressamente conto nella definizione dello schema geometrico, pur non prescrivendone il distacco dalla struttura. I particolari costruttivi che si definiranno per i nodi trave-pilastro dovrebbero essere sufficienti ad assorbire le eventuali azioni concentrate, di entità non elevata, trasmesse dai tompani.

Della variazione di assorbimento delle forze sismiche da parte dei telai tompanati si terrà invece espressamente conto, sia pure con schemi limite molto a vantaggio di sicurezza, nel verificare ed armare l'impalcato.

## CAPITOLO IX

### RISOLUZIONE DELLO SCHEMA SOGGETTO A FORZE ORIZZONTALI

#### 9.1. Schema iniziale.

Come primo passo per la risoluzione dello schema spaziale soggetto a forze orizzontali, si è effettuato il calcolo di due schemi piani, equivalenti a meno della rotazione allo schema spaziale (telai spaziali traslanti). Ciascuno è costituito da tutti i telai paralleli ad una direzione, collegati tra loro a livello degli impalcati da pendoli inestensibili.

Per semplicità, nel definire geometricamente questi schemi si è preferito trascurare la presenza del torrino scale. L'errore che si commette è modesto e solo locale, dato il basso numero di pilastri trascurati (solo sei) ed il fatto che essi sono posti al piano superiore, nel quale l'effetto sismico è minore. È invece importante non dimenticare la forza orizzontale competente al torrino, il cui effetto si risente fino alla base dell'edificio; essa è stata direttamente sommata a quella del quinto impalcato.

Per la determinazione delle caratteristiche di sollecitazione si è utilizzato il programma, valido per telai piani a maglie rettangolari con aste estensionalmente indeformabili, illustrato nella terza parte del testo. I pendoli sono stati schematizzati come travi di sezione nulla. La loro lunghezza, ininfluenza ai fini del calcolo, è stata scelta pari ad un metro. I dati geometrici, i carichi orizzontali applicati ed i risultati ottenuti sono riportati nelle pagine seguenti.

TELAJ IN DIREZIONE X

ALTEZZA DEI PIANI

piano	altezza (m)
5	3.20
4	3.20
3	3.20
2	3.20
1	3.60

LUCI E SEZIONI DELLE TRAVI

campata	luce (m)	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
21 - 22	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
22 - 23	3.80	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
23 - 24	3.20	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
24 - 25	3.20	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
25 - 26	4.20	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
26 - 27	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
27 - 14	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
14 - 15	4.70	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				

15 - 16	3.80	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
16 - 17	3.00	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
17 - 18	3.20	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
18 - 19	4.20	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
19 - 20	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
20 - 7	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
7 - 8	4.70	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
8 - 9	3.80	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
9 - 10	2.90	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
10 - 11	3.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
11 - 12	4.20	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
12 - 13	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
13 - 4	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				

4 - 5	4.70	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
5 - 6	3.80	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
6 - 1	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
1 - 2	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
2 - 3	3.80	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				

SEZIONI DEI PILASTRI

pilastro	piano	B	H	inerzia	piano	B	H	inerzia
		(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )		(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )
21	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
22	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
23	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
24	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
25	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
26	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				



27	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
14	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
15	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
16	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
17	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
18	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
19	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
20	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
7	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
8	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
9	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
10	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
11	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				

12	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
13	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
4	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
5	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
6	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
1	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
2	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
3	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				

Modulo di elasticità = 250000 kg/cm<sup>2</sup>

CARICHI

FORZE ORIZZONTALI

piano	forza (t)
5	36.45
4	29.87
3	22.53
2	15.39
1	7.39

RISULTATI

SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	9.832
4	8.762
3	7.086
2	4.857
1	2.293

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano	momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
21 - 22	5	2.43	-2.25	-1.09	-1.09
21 - 22	4	6.06	-5.65	-2.72	-2.72
21 - 22	3	8.91	-8.26	-3.99	-3.99
21 - 22	2	10.94	-10.20	-4.92	-4.92
21 - 22	1	11.88	-10.82	-5.28	-5.28
22 - 23	5	2.37	-2.39	-1.25	-1.25
22 - 23	4	5.97	-6.02	-3.15	-3.15
22 - 23	3	8.69	-8.77	-4.60	-4.60
22 - 23	2	10.77	-10.85	-5.69	-5.69
22 - 23	1	11.21	-11.38	-5.95	-5.95

23 - 24	5	2.00	-1.14	-0.98	-0.98
23 - 24	4	5.06	-2.92	-2.49	-2.49
23 - 24	3	7.35	-4.18	-3.60	-3.60
23 - 24	2	9.07	-5.17	-4.45	-4.45
23 - 24	1	9.29	-4.86	-4.42	-4.42
24 - 25	5	1.16	-2.03	-1.00	-1.00
24 - 25	4	2.96	-5.14	-2.53	-2.53
24 - 25	3	4.24	-7.46	-3.66	-3.66
24 - 25	2	5.25	-9.22	-4.52	-4.52
24 - 25	1	4.95	-9.46	-4.50	-4.50
25 - 26	5	2.21	-2.21	-1.05	-1.05
25 - 26	4	5.56	-5.54	-2.64	-2.64
25 - 26	3	8.12	-8.10	-3.86	-3.86
25 - 26	2	10.02	-9.99	-4.76	-4.76
25 - 26	1	10.60	-10.56	-5.04	-5.04
26 - 27	5	2.12	-1.67	-1.05	-1.05
26 - 27	4	5.35	-4.24	-2.66	-2.66
26 - 27	3	7.76	-6.11	-3.85	-3.85
26 - 27	2	9.61	-7.59	-4.78	-4.78
26 - 27	1	9.85	-7.42	-4.80	-4.80
27 - 14	5	0.00	0.00	0.00	0.00
27 - 14	4	0.00	0.00	0.00	0.00
27 - 14	3	0.00	0.00	0.00	0.00
27 - 14	2	0.00	0.00	0.00	0.00
27 - 14	1	0.00	0.00	0.00	0.00
14 - 15	5	0.37	-0.34	-0.15	-0.15
14 - 15	4	0.63	-0.60	-0.26	-0.26
14 - 15	3	0.91	-0.87	-0.38	-0.38
14 - 15	2	1.11	-1.07	-0.46	-0.46
14 - 15	1	1.24	-1.18	-0.52	-0.52
15 - 16	5	0.38	-0.38	-0.20	-0.20
15 - 16	4	0.71	-0.71	-0.37	-0.37
15 - 16	3	1.02	-1.01	-0.54	-0.54
15 - 16	2	1.26	-1.25	-0.66	-0.66
15 - 16	1	1.37	-1.36	-0.72	-0.72
16 - 17	5	0.38	-0.28	-0.22	-0.22
16 - 17	4	0.69	-0.49	-0.40	-0.40
16 - 17	3	0.99	-0.70	-0.56	-0.56
16 - 17	2	1.22	-0.86	-0.69	-0.69
16 - 17	1	1.29	-0.86	-0.72	-0.72
17 - 18	5	1.60	-2.23	-1.20	-1.20
17 - 18	4	4.23	-5.70	-3.10	-3.10
17 - 18	3	6.07	-8.26	-4.48	-4.48
17 - 18	2	7.54	-10.23	-5.55	-5.55
17 - 18	1	7.27	-10.45	-5.53	-5.53

18 - 19	5	2.19	-2.19	-1.04	-1.04
18 - 19	4	5.48	-5.51	-2.62	-2.62
18 - 19	3	8.01	-8.05	-3.82	-3.82
18 - 19	2	9.88	-9.93	-4.72	-4.72
18 - 19	1	10.44	-10.49	-4.98	-4.98
19 - 20	5	2.12	-1.67	-1.05	-1.05
19 - 20	4	5.35	-4.25	-2.67	-2.67
19 - 20	3	7.77	-6.11	-3.86	-3.86
19 - 20	2	9.61	-7.59	-4.78	-4.78
19 - 20	1	9.87	-7.43	-4.80	-4.80
20 - 7	5	0.00	0.00	0.00	0.00
20 - 7	4	0.00	0.00	0.00	0.00
20 - 7	3	0.00	0.00	0.00	0.00
20 - 7	2	0.00	0.00	0.00	0.00
20 - 7	1	0.00	0.00	0.00	0.00
7 - 8	5	0.37	-0.35	-0.15	-0.15
7 - 8	4	0.63	-0.61	-0.26	-0.26
7 - 8	3	0.92	-0.88	-0.38	-0.38
7 - 8	2	1.12	-1.08	-0.47	-0.47
7 - 8	1	1.26	-1.21	-0.52	-0.52
8 - 9	5	0.31	-0.22	-0.14	-0.14
8 - 9	4	0.56	-0.39	-0.25	-0.25
8 - 9	3	0.80	-0.55	-0.36	-0.36
8 - 9	2	0.99	-0.69	-0.44	-0.44
8 - 9	1	1.06	-0.69	-0.46	-0.46
9 - 10	5	1.68	-2.32	-1.38	-1.38
9 - 10	4	4.41	-5.93	-3.57	-3.57
9 - 10	3	6.32	-8.59	-5.14	-5.14
9 - 10	2	7.85	-10.64	-6.37	-6.37
9 - 10	1	7.53	-10.77	-6.31	-6.31
10 - 11	5	2.62	-2.64	-1.60	-1.60
10 - 11	4	6.60	-6.65	-4.02	-4.02
10 - 11	3	9.61	-9.68	-5.85	-5.85
10 - 11	2	11.89	-11.99	-7.24	-7.24
10 - 11	1	12.38	-12.45	-7.52	-7.52
11 - 12	5	2.13	-2.17	-1.02	-1.02
11 - 12	4	5.36	-5.45	-2.57	-2.57
11 - 12	3	7.81	-7.96	-3.75	-3.75
11 - 12	2	9.66	-9.83	-4.64	-4.64
11 - 12	1	10.09	-10.34	-4.86	-4.86
12 - 13	5	2.12	-1.67	-1.05	-1.05
12 - 13	4	5.36	-4.25	-2.67	-2.67
12 - 13	3	7.78	-6.11	-3.86	-3.86
12 - 13	2	9.63	-7.59	-4.78	-4.78
12 - 13	1	9.89	-7.43	-4.81	-4.81

13 - 4	5	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 4	4	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 4	3	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 4	2	0.00	0.00	0.00	0.00
13 - 4	1	0.00	0.00	0.00	0.00
4 - 5	5	0.37	-0.34	-0.15	-0.15
4 - 5	4	0.63	-0.60	-0.26	-0.26
4 - 5	3	0.91	-0.86	-0.38	-0.38
4 - 5	2	1.11	-1.06	-0.46	-0.46
4 - 5	1	1.24	-1.17	-0.51	-0.51
5 - 6	5	0.41	-0.44	-0.22	-0.22
5 - 6	4	0.74	-0.76	-0.40	-0.40
5 - 6	3	1.06	-1.10	-0.57	-0.57
5 - 6	2	1.30	-1.35	-0.70	-0.70
5 - 6	1	1.43	-1.50	-0.77	-0.77
6 - 1	5	0.00	0.00	0.00	0.00
6 - 1	4	0.00	0.00	0.00	0.00
6 - 1	3	0.00	0.00	0.00	0.00
6 - 1	2	0.00	0.00	0.00	0.00
6 - 1	1	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 2	5	2.42	-2.23	-1.08	-1.08
1 - 2	4	6.05	-5.61	-2.71	-2.71
1 - 2	3	8.88	-8.19	-3.97	-3.97
1 - 2	2	10.91	-10.13	-4.89	-4.89
1 - 2	1	11.83	-10.69	-5.24	-5.24
2 - 3	5	2.50	-2.69	-1.37	-1.37
2 - 3	4	6.29	-6.73	-3.43	-3.43
2 - 3	3	9.18	-9.87	-5.01	-5.01
2 - 3	2	11.36	-12.14	-6.18	-6.18
2 - 3	1	11.95	-13.08	-6.59	-6.59

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
21	5	2.43	-1.03	1.08	1.09
21	4	5.04	-2.84	2.46	3.81
21	3	6.08	-4.57	3.33	7.81
21	2	6.37	-5.48	3.71	12.72
21	1	6.40	-14.58	5.83	18.00
22	5	4.62	-3.44	2.52	0.16
22	4	8.19	-6.50	4.59	0.59
22	3	10.45	-9.14	6.12	1.20
22	2	11.82	-11.61	7.32	1.97
22	1	10.42	-16.59	7.50	2.63

23	5	4.39	-3.20	2.37	-0.27
23	4	7.87	-6.11	4.37	-0.93
23	3	10.00	-8.70	5.85	-1.92
23	2	11.21	-10.82	6.89	-3.16
23	1	9.85	-16.31	7.27	-4.58
24	5	2.30	-2.27	1.43	0.01
24	4	3.62	-3.59	2.25	0.05
24	3	4.82	-4.80	3.01	0.10
24	2	5.62	-5.71	3.54	0.17
24	1	4.10	-4.14	2.29	0.25
25	5	4.25	-3.04	2.28	0.05
25	4	7.66	-5.87	4.23	0.17
25	3	9.71	-8.38	5.65	0.37
25	2	10.85	-10.44	6.65	0.62
25	1	9.62	-16.19	7.17	1.15
26	5	4.32	-3.12	2.33	-0.00
26	4	7.77	-6.00	4.30	0.02
26	3	9.86	-8.55	5.75	0.01
26	2	11.05	-10.66	6.78	0.02
26	1	9.76	-16.26	7.23	-0.22
27	5	1.67	-1.55	1.01	-1.05
27	4	2.69	-2.55	1.64	-3.71
27	3	3.56	-3.44	2.19	-7.57
27	2	4.15	-4.21	2.61	-12.34
27	1	3.21	-3.69	1.92	-17.14
14	5	0.37	-0.01	0.12	0.15
14	4	0.62	-0.18	0.25	0.41
14	3	0.73	-0.43	0.36	0.79
14	2	0.68	-0.44	0.35	1.25
14	1	0.80	-2.49	0.91	1.77
15	5	0.72	-0.33	0.33	0.05
15	4	0.98	-0.63	0.50	0.16
15	3	1.25	-0.98	0.70	0.32
15	2	1.34	-1.22	0.80	0.52
15	1	1.32	-2.75	1.13	0.72
16	5	0.76	-0.37	0.35	0.02
16	4	1.03	-0.68	0.53	0.04
16	3	1.32	-1.05	0.74	0.06
16	2	1.42	-1.29	0.85	0.10
16	1	1.36	-2.77	1.15	0.10
17	5	1.88	-1.77	1.14	0.98
17	4	2.95	-2.85	1.81	3.68
17	3	3.92	-3.82	2.42	7.60
17	2	4.58	-4.65	2.88	12.46
17	1	3.47	-3.83	2.03	17.28

18	5	4.42	-3.24	2.39	-0.15
18	4	7.93	-6.19	4.41	-0.64
18	3	10.09	-8.79	5.90	-1.29
18	2	11.32	-10.94	6.96	-2.13
18	1	9.94	-16.35	7.30	-2.68
19	5	4.31	-3.11	2.32	0.01
19	4	7.75	-5.98	4.29	0.06
19	3	9.84	-8.52	5.74	0.09
19	2	11.02	-10.62	6.76	0.15
19	1	9.73	-16.25	7.22	-0.03
20	5	1.67	-1.55	1.01	-1.05
20	4	2.69	-2.55	1.64	-3.72
20	3	3.56	-3.44	2.19	-7.57
20	2	4.15	-4.22	2.61	-12.35
20	1	3.21	-3.70	1.92	-17.15
7	5	0.37	-0.01	0.12	0.15
7	4	0.62	-0.18	0.25	0.42
7	3	0.73	-0.44	0.36	0.80
7	2	0.68	-0.45	0.35	1.27
7	1	0.81	-2.49	0.92	1.79
8	5	0.66	-0.27	0.29	-0.01
8	4	0.91	-0.53	0.45	-0.03
8	3	1.15	-0.87	0.63	-0.05
8	2	1.21	-1.05	0.71	-0.08
8	1	1.21	-2.70	1.08	-0.14
9	5	1.90	-1.80	1.16	1.24
9	4	3.00	-2.90	1.84	4.55
9	3	3.98	-3.89	2.46	9.34
9	2	4.64	-4.71	2.92	15.27
9	1	3.51	-3.84	2.04	21.12
10	5	4.95	-3.83	2.74	0.22
10	4	8.70	-7.06	4.92	0.57
10	3	11.14	-9.91	6.58	1.37
10	2	12.61	-12.33	7.80	2.23
10	1	10.82	-16.79	7.67	3.45
11	5	4.77	-3.61	2.62	-0.57
11	4	8.40	-6.74	4.73	-2.01
11	3	10.75	-9.48	6.32	-4.11
11	2	12.17	-11.94	7.53	-6.70
11	1	10.61	-16.68	7.58	-9.37
12	5	4.29	-3.09	2.31	0.03
12	4	7.72	-5.94	4.27	0.12
12	3	9.80	-8.49	5.71	0.23
12	2	10.97	-10.55	6.72	0.37
12	1	9.68	-16.22	7.20	0.32



13	5	1.67	-1.55	1.01	-1.05
13	4	2.69	-2.55	1.64	-3.72
13	3	3.56	-3.44	2.19	-7.58
13	2	4.15	-4.22	2.62	-12.36
13	1	3.21	-3.70	1.92	-17.18
4	5	0.37	-0.01	0.12	0.15
4	4	0.62	-0.18	0.25	0.41
4	3	0.73	-0.43	0.36	0.79
4	2	0.68	-0.44	0.35	1.25
4	1	0.80	-2.49	0.91	1.76
5	5	0.75	-0.35	0.34	0.07
5	4	1.00	-0.64	0.51	0.21
5	3	1.28	-1.00	0.71	0.40
5	2	1.37	-1.25	0.82	0.64
5	1	1.35	-2.76	1.14	0.89
6	5	0.44	-0.08	0.16	-0.22
6	4	0.69	-0.27	0.30	-0.62
6	3	0.83	-0.54	0.43	-1.19
6	2	0.81	-0.60	0.44	-1.89
6	1	0.90	-2.54	0.96	-2.66
1	5	2.42	-1.02	1.07	1.08
1	4	5.03	-2.82	2.45	3.79
1	3	6.06	-4.55	3.32	7.76
1	2	6.36	-5.45	3.69	12.56
1	1	6.37	-14.57	5.82	17.89
2	5	4.73	-3.56	2.59	0.28
2	4	8.35	-6.70	4.70	1.00
2	3	10.68	-9.37	6.26	2.04
2	2	12.12	-11.96	7.52	3.33
2	1	10.68	-16.72	7.51	4.68
3	5	2.69	-1.31	1.25	-1.37
3	4	5.41	-3.27	2.71	-4.79
3	3	6.60	-5.11	3.66	-9.81
3	2	7.02	-6.21	4.14	-15.99
3	1	6.87	-14.82	6.02	-22.58

TELAI IN DIREZIONE Y

ALTEZZA DEI PIANI

piano	altezza (m)
5	3.20
4	3.20
3	3.20
2	3.20
1	3.60

LUCI E SEZIONI DELLE TRAVI

campata	luce (m)	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
21 - 14	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
14 - 7	3.80	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
7 - 4	4.00	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
4 - 1	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
1 - 22	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
22 - 15	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
15 - 8	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
8 - 5	3.70	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				

5 - 2	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
2 - 23	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	-0.00	0.000000				
23 - 16	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
16 - 9	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
9 - 6	3.70	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
6 - 3	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
3 - 24	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
24 - 17	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
17 - 10	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
10 - 25	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
25 - 18	4.40	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
18 - 11	4.20	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
11 - 26	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				

26 - 19	4.40	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
19 - 12	4.20	5	0.60	0.22	0.000532	4	0.60	0.22	0.000532
		3	0.60	0.22	0.000532	2	0.60	0.22	0.000532
		1	0.60	0.22	0.000532				
12 - 27	1.00	5	0.00	0.00	0.000000	4	0.00	0.00	0.000000
		3	0.00	0.00	0.000000	2	0.00	0.00	0.000000
		1	0.00	0.00	0.000000				
27 - 20	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
20 - 13	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				

SEZIONI DEI PILASTRI

pilastro	piano	B	H	inerzia	piano	B	H	inerzia
		(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )		(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )
21	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
14	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
7	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
4	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
1	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
22	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				

15	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
8	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
5	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
2	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
23	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
16	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
9	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
6	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
3	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
24	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
17	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
10	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
25	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				

18	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
11	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
26	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
19	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
12	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
27	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
20	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
13	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				

Modulo di elasticità = 250000 kg/cm<sup>2</sup>

CARICHI

FORZE ORIZZONTALI

piano	forza (t)
5	36.45
4	29.87
3	22.63
2	15.39
1	7.39

RISULTATI

SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	9.417
4	8.385
3	6.776
2	4.639
1	2.126

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano	momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
21 - 14	5	1.47	-1.78	-0.76	-0.76
21 - 14	4	3.72	-4.48	-1.91	-1.91
21 - 14	3	5.36	-6.49	-2.75	-2.75
21 - 14	2	6.64	-8.01	-3.41	-3.41
21 - 14	1	6.55	-8.23	-3.44	-3.44
14 - 7	5	2.33	-2.30	-1.22	-1.22
14 - 7	4	5.84	-5.76	-3.05	-3.05
14 - 7	3	8.50	-8.38	-4.44	-4.44
14 - 7	2	10.48	-10.35	-5.48	-5.48
14 - 7	1	11.00	-10.78	-5.73	-5.73

7 - 4	5	2.17	-2.19	-1.09	-1.09
7 - 4	4	5.45	-5.50	-2.74	-2.74
7 - 4	3	7.92	-8.00	-3.98	-3.98
7 - 4	2	9.79	-9.87	-4.91	-4.91
7 - 4	1	10.19	-10.34	-5.13	-5.13
4 - 1	5	2.03	-1.60	-1.01	-1.01
4 - 1	4	5.12	-4.07	-2.55	-2.55
4 - 1	3	7.41	-5.85	-3.68	-3.68
4 - 1	2	9.16	-7.26	-4.56	-4.56
4 - 1	1	9.37	-7.08	-4.57	-4.57
1 - 22	5	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 22	4	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 22	3	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 22	2	0.00	0.00	0.00	0.00
1 - 22	1	0.00	0.00	0.00	0.00
22 - 15	5	1.47	-1.80	-0.76	-0.76
22 - 15	4	3.74	-4.52	-1.92	-1.92
22 - 15	3	5.38	-6.56	-2.77	-2.77
22 - 15	2	6.67	-8.09	-3.43	-3.43
22 - 15	1	6.58	-8.33	-3.47	-3.47
15 - 8	5	2.18	-2.14	-1.05	-1.05
15 - 8	4	5.46	-5.37	-2.64	-2.64
15 - 8	3	7.96	-7.80	-3.84	-3.84
15 - 8	2	9.81	-9.64	-4.74	-4.74
15 - 8	1	10.31	-10.05	-4.97	-4.97
8 - 5	5	2.33	-2.35	-1.27	-1.27
8 - 5	4	5.86	-5.88	-3.17	-3.17
8 - 5	3	8.52	-8.56	-4.61	-4.61
8 - 5	2	10.52	-10.56	-5.70	-5.70
8 - 5	1	10.94	-11.04	-5.94	-5.94
5 - 2	5	2.01	-1.60	-1.00	-1.00
5 - 2	4	5.06	-4.06	-2.53	-2.53
5 - 2	3	7.33	-5.83	-3.66	-3.66
5 - 2	2	9.06	-7.23	-4.52	-4.52
5 - 2	1	9.24	-7.05	-4.53	-4.53
2 - 23	5	0.00	0.00	0.00	0.00
2 - 23	4	0.00	0.00	0.00	0.00
2 - 23	3	0.00	0.00	0.00	0.00
2 - 23	2	0.00	0.00	0.00	0.00
2 - 23	1	0.00	0.00	0.00	0.00
23 - 16	5	1.47	-1.80	-0.76	-0.76
23 - 16	4	3.74	-4.52	-1.92	-1.92
23 - 16	3	5.38	-6.56	-2.77	-2.77
23 - 16	2	6.67	-8.09	-3.43	-3.43
23 - 16	1	6.58	-8.33	-3.47	-3.47



16 - 9	5	2.18	-2.14	-1.05	-1.05
16 - 9	4	5.46	-5.37	-2.64	-2.64
16 - 9	3	7.96	-7.80	-3.84	-3.84
16 - 9	2	9.81	-9.64	-4.74	-4.74
16 - 9	1	10.31	-10.05	-4.97	-4.97
9 - 6	5	2.33	-2.35	-1.27	-1.27
9 - 6	4	5.86	-5.88	-3.17	-3.17
9 - 6	3	8.52	-8.56	-4.61	-4.61
9 - 6	2	10.52	-10.56	-5.70	-5.70
9 - 6	1	10.94	-11.04	-5.94	-5.94
6 - 3	5	2.01	-1.60	-1.00	-1.00
6 - 3	4	5.06	-4.06	-2.53	-2.53
6 - 3	3	7.33	-5.83	-3.66	-3.66
6 - 3	2	9.06	-7.23	-4.52	-4.52
6 - 3	1	9.24	-7.05	-4.53	-4.53
3 - 24	5	0.00	0.00	0.00	0.00
3 - 24	4	0.00	0.00	0.00	0.00
3 - 24	3	0.00	0.00	0.00	0.00
3 - 24	2	0.00	0.00	0.00	0.00
3 - 24	1	0.00	0.00	0.00	0.00
24 - 17	5	2.47	-2.33	-1.17	-1.17
24 - 17	4	6.14	-5.81	-2.91	-2.91
24 - 17	3	9.00	-8.49	-4.27	-4.27
24 - 17	2	11.04	-10.45	-5.24	-5.24
24 - 17	1	11.95	-11.14	-5.63	-5.63
17 - 10	5	1.78	-1.47	-0.76	-0.76
17 - 10	4	4.48	-3.73	-1.91	-1.91
17 - 10	3	6.49	-5.36	-2.75	-2.75
17 - 10	2	8.03	-6.65	-3.41	-3.41
17 - 10	1	8.20	-6.54	-3.43	-3.43
10 - 25	5	0.00	0.00	0.00	0.00
10 - 25	4	0.00	0.00	0.00	0.00
10 - 25	3	0.00	0.00	0.00	0.00
10 - 25	2	0.00	0.00	0.00	0.00
10 - 25	1	0.00	0.00	0.00	0.00
25 - 18	5	0.38	-0.35	-0.16	-0.16
25 - 18	4	0.64	-0.62	-0.29	-0.29
25 - 18	3	0.93	-0.89	-0.41	-0.41
25 - 18	2	1.13	-1.09	-0.50	-0.50
25 - 18	1	1.26	-1.19	-0.56	-0.56
18 - 11	5	0.36	-0.39	-0.18	-0.18
18 - 11	4	0.65	-0.67	-0.31	-0.31
18 - 11	3	0.93	-0.97	-0.45	-0.45
18 - 11	2	1.14	-1.18	-0.55	-0.55
18 - 11	1	1.25	-1.31	-0.61	-0.61

11 - 26	5	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 26	4	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 26	3	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 26	2	0.00	0.00	0.00	0.00
11 - 26	1	0.00	0.00	0.00	0.00
26 - 19	5	0.38	-0.35	-0.16	-0.16
26 - 19	4	0.64	-0.62	-0.29	-0.29
26 - 19	3	0.93	-0.89	-0.41	-0.41
26 - 19	2	1.13	-1.09	-0.50	-0.50
26 - 19	1	1.26	-1.19	-0.56	-0.56
19 - 12	5	0.36	-0.39	-0.18	-0.18
19 - 12	4	0.65	-0.67	-0.31	-0.31
19 - 12	3	0.93	-0.97	-0.45	-0.45
19 - 12	2	1.14	-1.18	-0.55	-0.55
19 - 12	1	1.25	-1.31	-0.61	-0.61
12 - 27	5	0.00	0.00	0.00	0.00
12 - 27	4	0.00	0.00	0.00	0.00
12 - 27	3	0.00	0.00	0.00	0.00
12 - 27	2	0.00	0.00	0.00	0.00
12 - 27	1	0.00	0.00	0.00	0.00
27 - 20	5	2.14	-2.26	-1.15	-1.15
27 - 20	4	6.07	-5.66	-2.86	-2.86
27 - 20	3	8.89	-8.24	-4.18	-4.18
27 - 20	2	10.91	-10.18	-5.14	-5.14
27 - 20	1	11.76	-10.70	-5.48	-5.48
20 - 13	5	2.26	-2.44	-1.15	1.15
20 - 13	4	5.66	-6.07	-2.86	-2.86
20 - 13	3	8.24	-8.89	-4.18	-4.18
20 - 13	2	10.18	-10.91	-5.14	-5.14
20 - 13	1	10.70	-11.76	-5.48	-5.48

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
21	5	1.47	-1.34	0.88	0.76
21	4	2.38	-2.22	1.44	2.66
21	3	3.14	-3.00	1.92	5.42
21	2	3.64	-3.70	2.29	8.83
21	1	2.85	-3.42	1.74	12.26
14	5	4.11	-2.96	2.21	0.46
14	4	7.35	-5.65	4.06	1.61
14	3	9.34	-8.08	5.44	3.30
14	2	10.42	-10.05	6.40	5.37
14	1	9.17	-15.43	6.84	7.66

7	5	4.47	-3.35	2.44	-0.13
7	4	7.87	-6.25	4.41	-0.44
7	3	10.05	-8.82	5.89	-0.90
7	2	11.32	-11.10	7.01	-1.47
7	1	9.88	-15.79	7.13	-2.07
4	5	4.23	-3.09	2.29	-0.08
4	4	7.52	-5.85	4.18	-0.27
4	3	9.57	-8.33	5.59	-0.56
4	2	10.70	-10.35	6.58	-0.92
4	1	9.36	-15.53	6.91	-1.48
1	5	1.60	-1.50	0.97	-1.01
1	4	2.58	-2.44	1.57	-3.56
1	3	3.41	-3.29	2.09	-7.25
1	2	3.96	-4.03	2.50	-11.81
1	1	3.05	-3.52	1.83	-16.37
22	5	1.47	-1.35	0.88	0.76
22	4	2.39	-2.23	1.44	2.68
22	3	3.15	-3.01	1.93	5.46
22	2	3.66	-3.71	2.30	8.89
22	1	2.86	-3.42	1.75	12.36
15	5	3.98	-2.82	2.12	0.29
15	4	7.17	-5.44	3.94	1.01
15	3	9.08	-7.81	5.28	2.98
15	2	10.10	-9.70	6.19	3.39
15	1	8.95	-15.32	6.74	4.89
8	5	4.47	-3.36	2.45	0.21
8	4	7.87	-6.26	4.42	0.75
8	3	10.06	-8.83	5.90	1.52
8	2	11.33	-11.11	7.01	2.47
8	1	9.89	-15.79	7.13	3.45
5	5	4.36	-3.24	2.37	-0.26
5	4	7.71	-6.06	4.31	-0.90
5	3	9.83	-8.61	5.76	-1.86
5	2	11.02	-10.70	6.79	-3.04
5	1	9.58	-15.64	7.01	-4.45
2	5	1.60	-1.49	0.96	-1.00
2	4	2.57	-2.43	1.56	-3.54
2	3	3.40	-3.28	2.09	-7.19
2	2	3.95	-4.01	2.49	-11.72
2	1	3.04	-3.51	1.82	-16.24
23	5	1.47	-1.35	0.88	0.76
23	4	2.39	-2.23	1.44	2.68
23	3	3.15	-3.01	1.93	5.46
23	2	3.66	-3.71	2.30	8.89
23	1	2.86	-3.42	1.75	12.36

16	5	3.98	-2.82	2.12	0.29
16	4	7.17	-5.44	3.94	1.01
16	3	9.08	-7.81	5.28	2.08
16	2	10.10	-9.70	6.19	3.39
16	1	8.95	-15.32	6.74	4.89
9	5	4.47	-3.36	2.45	0.21
9	4	7.87	-6.26	4.42	0.75
9	3	10.06	-8.83	5.90	1.52
9	2	11.33	-11.11	7.01	2.47
9	1	9.89	-15.79	7.13	3.45
6	5	4.36	-3.24	2.37	-0.26
6	4	7.71	-6.06	4.31	-0.90
6	3	9.83	-8.61	5.76	-1.86
6	2	11.02	-10.70	6.79	-3.04
6	1	9.58	-15.64	7.01	-4.45
3	5	1.60	-1.49	0.96	-1.00
3	4	2.57	-2.43	1.56	-3.54
3	3	3.40	-3.28	2.09	-7.19
3	2	3.95	-4.01	2.49	-11.72
3	1	3.04	-3.51	1.82	-16.24
24	5	2.47	-1.14	1.13	1.17
24	4	5.00	-2.93	2.48	4.08
24	3	6.07	-4.54	3.35	8.35
24	2	6.40	-5.63	3.76	13.59
24	1	6.32	-14.01	5.65	19.22
17	5	4.11	-2.95	2.20	-0.41
17	4	7.34	-5.65	4.06	-1.42
17	3	9.33	-8.05	5.43	-2.93
17	2	10.42	-10.10	6.41	-4.76
17	1	9.24	-15.47	6.86	-6.97
10	5	1.47	-1.34	0.88	-0.76
10	4	2.38	-2.22	1.44	-2.66
10	3	3.14	-3.00	1.92	-5.42
10	2	3.64	-3.69	2.29	-8.83
10	1	2.85	-3.42	1.74	-12.26
25	5	0.38	-0.03	0.13	0.16
25	4	0.61	-0.20	0.25	0.45
25	3	0.73	-0.45	0.37	0.86
25	2	0.68	-0.47	0.36	1.37
25	1	0.79	-2.39	0.88	1.93
18	5	0.71	-0.33	0.32	0.02
18	4	0.94	-0.60	0.48	0.04
18	3	1.21	-0.94	0.67	0.08
18	2	1.29	-1.18	0.77	0.13
18	1	1.26	-2.62	1.08	0.18

11	5	0.39	-0.05	0.14	-0.18
11	4	0.62	-0.22	0.26	-0.49
11	3	0.75	-0.47	0.38	-0.94
11	2	0.71	-0.51	0.38	-1.50
11	1	0.81	-2.40	0.89	-2.11
26	5	0.38	-0.03	0.13	0.16
26	4	0.61	-0.20	0.25	0.45
26	3	0.73	-0.45	0.37	0.86
26	2	0.68	-0.47	0.36	1.37
26	1	0.79	-2.39	0.88	1.93
19	5	0.71	-0.33	0.32	0.02
19	4	0.94	-0.60	0.48	0.04
19	3	1.21	-0.94	0.67	0.08
19	2	1.29	-1.18	0.77	0.13
19	1	1.26	-2.62	1.08	0.18
12	5	0.39	-0.05	0.14	-0.18
12	4	0.62	-0.22	0.26	-0.49
12	3	0.75	-0.47	0.38	-0.94
12	2	0.71	-0.51	0.38	-1.50
12	1	0.81	-2.40	0.89	-2.11
27	5	2.44	-1.11	1.11	1.15
27	4	4.96	-2.88	2.45	4.01
27	3	6.01	-4.59	3.31	8.19
27	2	6.32	-5.52	3.70	13.33
27	1	6.24	-13.97	5.61	18.81
20	5	4.52	-3.39	2.47	-0.00
20	4	7.93	-6.34	4.46	-0.00
20	3	10.14	-8.89	5.95	-0.00
20	2	11.46	-11.33	7.12	-0.00
20	1	10.07	-15.88	7.21	-0.00
13	5	2.44	-1.11	1.11	-1.15
13	4	4.96	-2.88	2.45	-4.01
13	3	6.01	-4.59	3.31	-8.19
13	2	6.32	-5.52	3.70	-13.33
13	1	6.24	-13.97	5.61	-18.81

## 9.2. Verifica di massima.

Le caratteristiche di sollecitazione innanzi riportate non sono, ovviamente, quelle effettivamente esistenti nella struttura, perché lo schema iniziale assunto trascura la rotazione dell'edificio. In particolare sono sottovalutate le sollecitazioni nel telaio 27-20-13, parallelo alla direzione  $y$  per la quale meno si è rispettato il criterio di uniformità di distribuzione delle rigidzze. Prima di tener conto esattamente di ciò, si è comunque proceduto ad un esame critico dei risultati ed una verifica di massima delle sezioni.

Per le travi emergenti il momento flettente più elevato (13.08 tm) si ha nella campata 2-3, che però non porta il solaio. Tra le campate soggette ad elevati carichi verticali il massimo (11.04 tm) viene raggiunto nella campata 8-5. Il carico su essa agente, pari a quasi  $4 \text{ tm}^{-1}$ , comporta un momento flettente dell'ordine di grandezza di 5 tm, che porta il momento totale a 16 tm. A tale valore corrisponde un coefficiente  $r=0.247$ , accettabile per una trave 30x60 purché l'armatura in compressione sia almeno il 20% di quella tesa. Nella stessa campata il taglio è valutabile in 13.4 t (7.4 per effetto dei carichi verticali e 6 per effetto delle forze orizzontali). Ad esso corrispondono tensioni tangenziali di  $8.3 \text{ kgcm}^{-2}$ , che rientrano ampiamente nei limiti ammissibili.

Nelle travi a spessore il momento flettente non supera mai 1.5 tm. Anche i carichi verticali sono di entità modesta, e quindi le tensioni risulteranno sicuramente ammissibili.

Per la verifica di massima dei pilastri si sono utilizzati i domini M-N riportati nelle pagine seguenti (figg.16 e 17). Lo sforzo normale dovuto ai carichi verticali alla base del primo ordine è compreso tra 40 e 100 t, in funzione della area di solaio e sbalzo gravante sui pilastri. Il sisma provoca al più uno sforzo normale di 22.6 t (pilastro 3 per forze in direzione  $x$ ). Il massimo momento flettente che sollecita i pilastri nella direzione di maggior rigidzza è 16.79 tm (pilastro 10 per forze in direzione  $x$ ). Nella direzione più debole il massimo è invece pari a 5.71 tm (pilastro 24, sempre per forze in direzione  $x$ ). Valori di questo ordine di grandezza rendono necessarie armature di circa  $15 \text{ cm}^2$  sul lato corto e  $9 \text{ cm}^2$  sul lato lungo, che si ritengono accettabili.

Si osserva infine che gli spostamenti orizzontali dell'ultimo impalcato sono quasi uguali nelle due direzioni (9.8 e 9.4 mm), a conferma della uniformità di rigidzza globale della struttura in direzione  $x$  ed  $y$ .

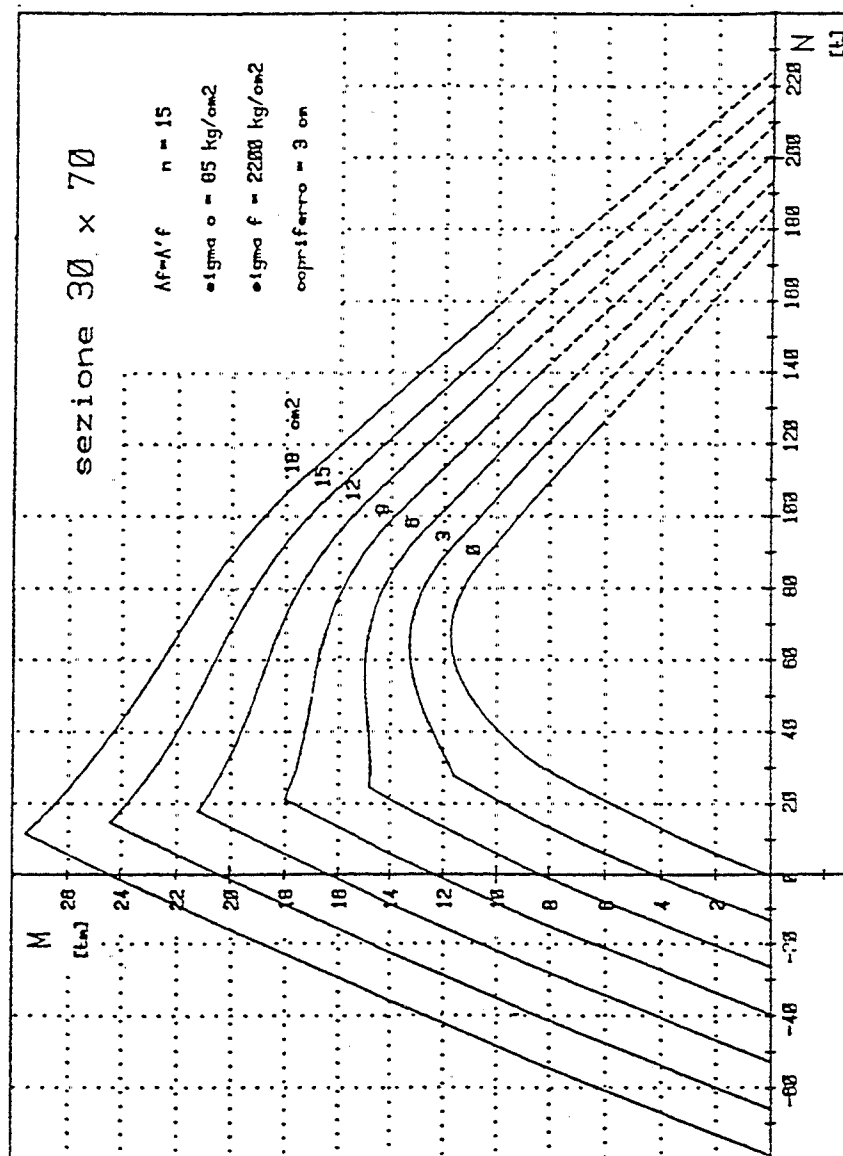


FIG.16

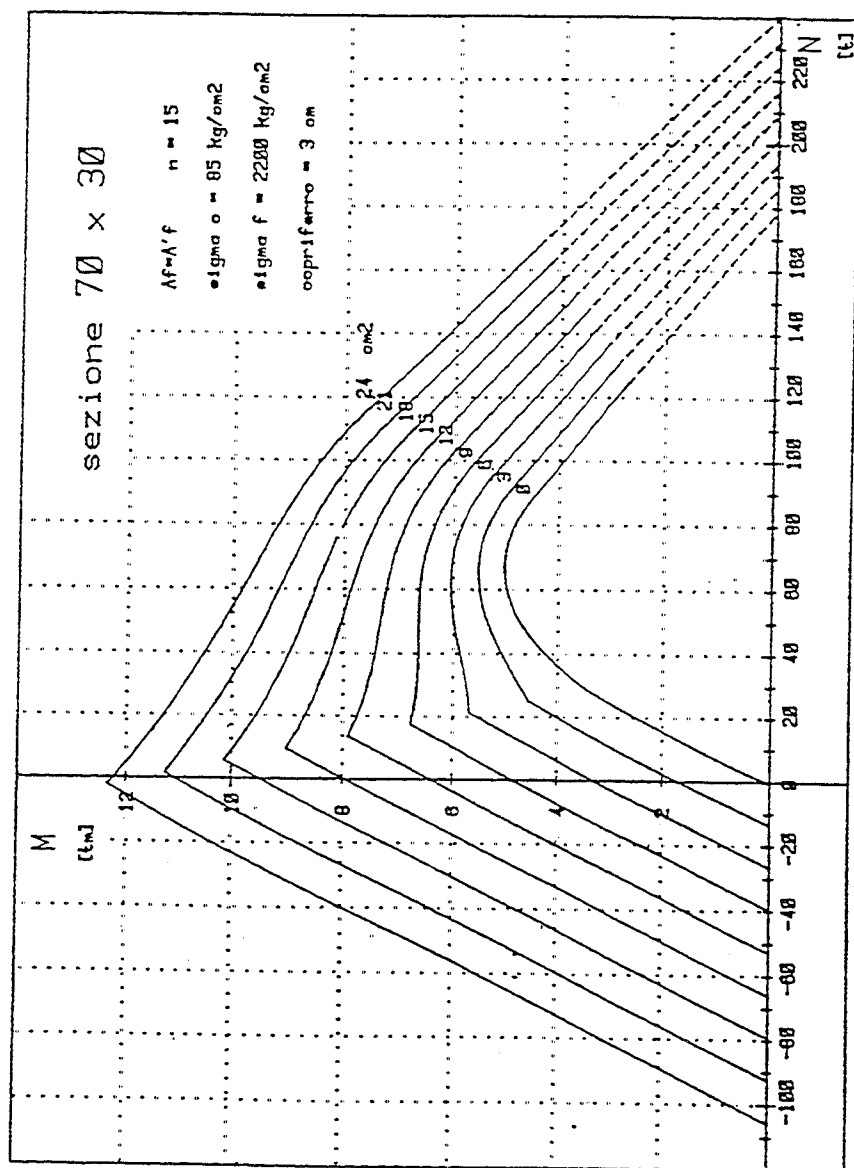


FIG.17



### 9.3. Risoluzione dello schema spaziale.

#### 9.3.1. Calcolo delle rigidità.

I risultati forniti dalla risoluzione dei due schemi sono stati utilizzati per la determinazione di un primo insieme di valori per le rigidità dei telai.

#### Telai paralleli all'asse $x$ .

Dagli spostamenti assoluti dei traversi dello schema di telaio spaziale traslante in direzione  $x$  si ottengono i seguenti spostamenti relativi tra gli impalcati:

interpiano 5	spostamento relativo:	1.070 mm
interpiano 4	spostamento relativo:	1.676 mm
interpiano 3	spostamento relativo:	2.229 mm
interpiano 2	spostamento relativo:	2.564 mm
interpiano 1	spostamento relativo:	2.293 mm

La rigidità di ciascun telaio ad ogni piano è stata determinata come rapporto tra il taglio sopportato dal telaio (somma dei tagli dei singoli pilastri) ed il corrispondente spostamento relativo.

telaio	piano	taglio (t)	rigidità (t mm <sup>-1</sup> )
1	5	13.02	12.17
	4	23.84	14.22
	3	31.90	14.31
	2	37.50	14.63
	1	39.21	17.10
2	5	7.66	7.16
	4	13.43	8.01
	3	18.05	8.10
	2	21.21	8.27
	1	21.66	9.45
3	5	10.25	9.58
	4	18.10	10.80
	3	24.25	10.88
	2	28.65	11.17
	1	28.41	12.39

telaio	piano	taglio (t)	rigidezza (t mm <sup>-1</sup> )
4	5	0.62	0.58
	4	1.06	0.63
	3	1.50	0.67
	2	1.61	0.63
	1	3.01	1.31
5	5	4.91	4.59
	4	9.86	5.88
	3	13.24	5.94
	2	15.35	5.99
	1	19.45	8.48

*Telai paralleli all'asse y.*

In maniera analoga, dai risultati dello schema di telaio spaziale traslante in direzione y si ottiene:

interpiano 5	spostamento relativo:	1.032 mm
interpiano 4	spostamento relativo:	1.609 mm
interpiano 3	spostamento relativo:	2.137 mm
interpiano 2	spostamento relativo:	2.453 mm
interpiano 1	spostamento relativo:	2.186 mm

telaio	piano	taglio (t)	rigidezza (t mm <sup>-1</sup> )
1	5	8.79	8.52
	4	15.66	9.73
	3	20.93	9.79
	2	24.78	10.10
	1	24.45	11.18
2	5	8.78	8.51
	4	15.67	9.74
	3	20.96	9.81
	2	24.78	10.10
	1	24.45	11.18
3	5	8.78	8.51
	4	15.67	9.74
	3	20.98	9.81
	2	24.78	10.10
	1	24.45	11.18

telaio	piano	taglio (t)	rigidezza ( $t \text{ mm}^{-1}$ )
4	5	4.21	4.08
	4	7.98	4.96
	3	10.70	5.01
	2	12.46	5.08
	1	14.25	6.52
5	5	0.59	0.57
	4	0.99	0.61
	3	1.42	0.66
	2	1.51	0.62
	1	2.85	1.30
6	5	0.59	0.57
	4	0.99	0.61
	3	1.42	0.66
	2	1.51	0.62
	1	2.85	1.30
7	5	4.69	4.54
	4	9.36	5.82
	3	12.57	5.88
	2	14.52	5.92
	1	18.43	8.43

Dai risultati innanzi riportati si può notare che, pur essendo i pilastri di ciascun telaio uguali a tutti gli ordini, la rigidezza varia da piano a piano, poiché essa dipende anche dalla rotazione dei nodi. La rigidezza al quinto ordine è inferiore rispetto a quella degli ordini sottostanti sia per la minore sezione delle travi emergenti al quinto impalcato (30x50 anziché 30x60), sia per l'assenza di pilastri sovrastanti. Al primo ordine essa è invece nettamente superiore, nonostante l'altezza lievemente maggiore dell'interpiano, perché i pilastri presentano al piede rotazioni nulle. La differenza tra la rigidezza al primo ordine e quella agli ordini superiori è particolarmente sensibile per i telai con travi a spessore (il quarto in direzione x, il quinto e il sesto in direzione y), proprio perché la modesta rigidezza delle travi consente rotazioni elevate a tutti i piani e quindi un maggior contrasto con la rotazione nulla delle sezioni di incastro.

## 9.9.2. Ripartizione del taglio tra i telai.

Una volta determinate le rigidezze dei telai, si sono calcolate le coordinate del loro baricentro ai diversi interpiani, come rapporto tra il momento statico rispetto agli assi coordinati e la rigidezza totale in ciascuna direzione. Si riporta il dettaglio dei calcoli relativi al quinto piano ed i soli valori finali ottenuti agli altri piani.

Piano 5:

Somma delle rigidezze dei telai paralleli all'asse x:

$$K_x = 12.17 + 7.16 + 9.58 + 0.58 + 4.59 = 34.08 \text{ t mm}^{-1}$$

Momento statico delle rigidezze rispetto all'asse x:

$$S = 12.17 \times 0.15 + 7.16 \times 4.55 + 9.58 \times 8.75 + 0.58 \times 12.25 + 4.59 \times 15.85 = 198.09$$

Ordinata del baricentro:

$$y_G = 198.09 / 34.08 = 5.81 \text{ m}$$

Somma delle rigidezze dei telai paralleli all'asse y:

$$K_y = 8.52 + 8.51 + 8.51 + 4.08 + 0.57 + 0.57 + 4.54 = 35.30 \text{ t mm}^{-1}$$

Momento statico delle rigidezze rispetto all'asse y:

$$S = 8.52 \times 0.15 + 8.51 \times 4.85 + 8.51 \times 8.65 + 4.08 \times 11.65 + \\ + 0.57 \times 14.85 + 0.57 \times 19.05 + 4.54 \times 22.65 = 285.85$$

Ascissa del baricentro:

$$x_G = 285.85 / 35.30 = 8.10 \text{ m}$$

Piano 4:	$x_G = 8.33 \text{ m}$	$y_G = 5.92 \text{ m}$
Piano 3:	$x_G = 8.36 \text{ m}$	$y_G = 5.93 \text{ m}$
Piano 2:	$x_G = 8.28 \text{ m}$	$y_G = 5.90 \text{ m}$
Piano 1:	$x_G = 9.07 \text{ m}$	$y_G = 6.25 \text{ m}$

Si è quindi determinato a ciascun livello il taglio globale Q e le coordinate del suo punto di applicazione ( $x_Q$  e  $y_Q$ ), come risultante di tutte le forze sovrastanti.

Piano 5:

$$Q = 5.10 + 31.35 = 36.45 \text{ t}$$

$$x_Q = (5.10 \times 9.75 + 31.35 \times 10.20) / 36.45 = 10.14 \text{ m}$$

$$y_Q = (5.10 \times 4.86 + 31.35 \times 5.89) / 36.45 = 5.75 \text{ m}$$

Piano 4:  $Q = 66.32 \text{ t}$        $x_Q = 10.23 \text{ m}$        $y_Q = 5.70 \text{ m}$

Piano 3:  $Q = 88.95 \text{ t}$        $x_Q = 10.26 \text{ m}$        $y_Q = 5.69 \text{ m}$

Piano 2:  $Q = 104.34 \text{ t}$        $x_Q = 10.28 \text{ m}$        $y_Q = 5.68 \text{ m}$

Piano 1:  $Q = 111.73 \text{ t}$        $x_Q = 10.24 \text{ m}$        $y_Q = 5.72 \text{ m}$

Si può notare che le ordinate del baricentro del taglio globale differiscono poco da quelle del baricentro delle rigidezze. L'eccentricità va infatti da un minimo di 0.06 m (in corrispondenza del quinto impalcato) ad un massimo di 0.53 m (al primo impalcato). Per l'azione sismica in direzione x, la struttura si presenta quindi bilanciata e subirà rotazioni modeste. La conseguente ridistribuzione dei tagli tra i telai sarà praticamente irrilevante.

Nettamente maggiore è invece la differenza delle ascisse. L'eccentricità va da un minimo di 1.17 m (in corrispondenza del primo impalcato) ad un massimo di 2.04 m (al quinto impalcato). Le forze sismiche in direzione y provocheranno quindi rotazioni planimetriche di entità più elevata e variazioni non trascurabili delle sollecitazioni, rispetto ai valori forniti dal telaio spaziale traslante.

Applicando le formule descritte nella prima parte del testo, si è effettuata a ciascun piano la ripartizione del taglio globale tra i singoli telai. Si riporta di seguito il dettaglio dei calcoli relativi al quinto piano.

Somma delle rigidezze:

- telai paralleli ad x:  $K_x = 34.08$

- telai paralleli ad y:  $K_y = 35.30$

Momento d'inerzia delle rigidezze rispetto al loro baricentro:

- telai paralleli ad x:

$$I_x = 12.17 \times (0.15 - 5.81)^2 + 7.16 \times (4.55 - 5.81)^2 + 9.58 \times (8.75 - 5.81)^2 + \\ + 0.58 \times (12.25 - 5.81)^2 + 4.59 \times (15.85 - 5.81)^2 = 970.78$$

- telai paralleli ad y:

$$I_y = 8.52 \times (0.15 - 8.10)^2 + 8.51 \times (4.85 - 8.10)^2 + 8.51 \times (8.65 - 8.10)^2 +$$

$$+4.08x(11.65 - 8.10)^2 + 0.57x(14.85 - 8.10)^2 + 0.57x(19.05 - 8.10)^2 + \\ +4.54x(22.65 - 8.10)^2 = 1737.81$$

- totale:

$$I = I_x + I_y = 970.78 + 1737.81 = 2708.59$$

Ripartizione per forze in direzione x:

$$Q_x = 36.45 \text{ t} \quad Q_y = 0$$

$$M = 36.45x(5.75 - 5.81) - 0x(10.14 - 8.10) = -2.27 \text{ tm}$$

- telaio 1 in direzione x :

$$Q_{x1} = 36.45x12.17/34.08 - 2.27x12.17x(0.15 - 5.81)/2708.59 = \\ = 13.02 + 0.06 = 13.08 \text{ t}$$

In maniera analoga si ottengono i valori per i restanti telai.

Ripartizione per forze in direzione y:

$$Q_x = 0 \quad Q_y = 36.45 \text{ t}$$

$$M = 0x(5.75 - 5.81) - 36.45x(10.14 - 8.10) = -74.44 \text{ tm}$$

- telaio 1 in direzione x :

$$Q_{x1} = 0x12.17/34.08 - 74.44x12.17x(0.15 - 5.81)/2708.59 = \\ = 0 + 1.89 = 1.89 \text{ t}$$

- telaio 1 in direzione y :

$$Q_{y1} = 36.45x8.52/35.30 + 74.44x8.52x(0.15 - 8.10)/2708.59 = \\ = 8.80 - 1.86 = 6.94 \text{ t}$$

Data la ripetitività del calcolo, si è utilizzato il programma illustrato nella terza parte del testo. I relativi risultati sono riportati nelle pagine seguenti.

PIANO 5

forza 36.45 t      posizione :      x = 10.14 m      y = 5.75 m  
 taglio 36.45 t      posizione :      xQ = 10.14 m      yQ = 5.75 m  
 baricentro rigidezze :      xG = 8.10 m      yG = 5.81 m  
 Somma e momento d'inerzia rigidezze :      34.08      35.30      2708.59

FORZE IN DIREZIONE X

Qx = 36.45 t      Qy = 0.00 t      M = -2.27 tm

TELAI PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 12.17	Taglio = 13.02 t + 0.06 t = 13.07 t
telaio 2	Rigid. = 7.16	Taglio = 7.66 t + 0.01 t = 7.67 t
telaio 3	Rigid. = 9.58	Taglio = 10.25 t + -0.02 t = 10.22 t
telaio 4	Rigid. = 0.58	Taglio = 0.62 t + -0.00 t = 0.62 t
telaio 5	Rigid. = 4.59	Taglio = 4.91 t + -0.04 t = 4.87 t

TELAI PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 8.52	Taglio = 0.00 t + -0.06 t = -0.06 t
telaio 2	Rigid. = 8.51	Taglio = 0.00 t + -0.02 t = -0.02 t
telaio 3	Rigid. = 8.51	Taglio = 0.00 t + 0.00 t = 0.00 t
telaio 4	Rigid. = 4.08	Taglio = 0.00 t + 0.01 t = 0.01 t
telaio 5	Rigid. = 0.57	Taglio = 0.00 t + 0.00 t = 0.00 t
telaio 6	Rigid. = 0.57	Taglio = 0.00 t + 0.01 t = 0.01 t
telaio 7	Rigid. = 4.54	Taglio = 0.00 t + 0.06 t = 0.06 t

FORZE IN DIREZIONE Y

Qx = 0.00 t      Qy = 36.45 t      M = -74.44 tm

TELAI PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 12.17	Taglio = 0.00 t + 1.89 t = 1.89 t
telaio 2	Rigid. = 7.16	Taglio = 0.00 t + 0.25 t = 0.25 t
telaio 3	Rigid. = 9.58	Taglio = 0.00 t + -0.77 t = -0.77 t
telaio 4	Rigid. = 0.58	Taglio = 0.00 t + -0.10 t = -0.10 t
telaio 5	Rigid. = 4.59	Taglio = 0.00 t + -1.27 t = -1.27 t

TELAI PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 8.52	Taglio = 8.80 t + -1.86 t = 6.94 t
telaio 2	Rigid. = 8.51	Taglio = 8.79 t + -0.76 t = 8.03 t
telaio 3	Rigid. = 8.51	Taglio = 8.79 t + 0.13 t = 8.92 t
telaio 4	Rigid. = 4.08	Taglio = 4.21 t + 0.40 t = 4.61 t
telaio 5	Rigid. = 0.57	Taglio = 0.59 t + 0.11 t = 0.69 t
telaio 6	Rigid. = 0.57	Taglio = 0.59 t + 0.17 t = 0.76 t
telaio 7	Rigid. = 4.54	Taglio = 4.69 t + 1.82 t = 6.50 t

PIANO 4

forza 29.87 t      posizione :      x = 10.35 m      y = 5.64 m  
 taglio 66.32 t      posizione :      xQ = 10.23 m      yQ = 5.70 m  
 baricentro rigidezze :      xG = 8.33 m      yG = 5.92 m  
 Somma e momento d'inerzia rigidezze :      39.54      41.21      3294.17

FORZE IN DIREZIONE X

Qx = 66.32 t      Qy = 0.00 t      M = -14.42 tm

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 14.22	Taglio = 23.85 t + 0.36 t = 24.21 t
telaio 2	Rigid. = 8.01	Taglio = 13.44 t + 0.05 t = 13.48 t
telaio 3	Rigid. = 10.80	Taglio = 18.11 t + -0.13 t = 17.98 t
telaio 4	Rigid. = 0.63	Taglio = 1.06 t + -0.02 t = 1.04 t
telaio 5	Rigid. = 5.88	Taglio = 9.86 t + -0.26 t = 9.61 t

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 9.73	Taglio = 0.00 t + -0.35 t = -0.35 t
telaio 2	Rigid. = 9.74	Taglio = 0.00 t + -0.15 t = -0.15 t
telaio 3	Rigid. = 9.74	Taglio = 0.00 t + 0.01 t = 0.01 t
telaio 4	Rigid. = 4.96	Taglio = 0.00 t + 0.07 t = 0.07 t
telaio 5	Rigid. = 0.61	Taglio = 0.00 t + 0.02 t = 0.02 t
telaio 6	Rigid. = 0.61	Taglio = 0.00 t + 0.03 t = 0.03 t
telaio 7	Rigid. = 5.82	Taglio = 0.00 t + 0.36 t = 0.36 t

FORZE IN DIREZIONE Y

Qx = 0.00 t      Qy = 66.32 t      M = -126.38 tm

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 14.22	Taglio = 0.00 t + 3.15 t = 3.15 t
telaio 2	Rigid. = 8.01	Taglio = 0.00 t + 0.42 t = 0.42 t
telaio 3	Rigid. = 10.80	Taglio = 0.00 t + -1.17 t = -1.17 t
telaio 4	Rigid. = 0.63	Taglio = 0.00 t + -0.15 t = -0.15 t
telaio 5	Rigid. = 5.88	Taglio = 0.00 t + -2.24 t = -2.24 t

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 9.73	Taglio = 15.66 t + -3.05 t = 12.61 t
telaio 2	Rigid. = 9.74	Taglio = 15.67 t + -1.30 t = 14.37 t
telaio 3	Rigid. = 9.74	Taglio = 15.67 t + 0.12 t = 15.79 t
telaio 4	Rigid. = 4.96	Taglio = 7.98 t + 0.63 t = 8.61 t
telaio 5	Rigid. = 0.61	Taglio = 0.98 t + 0.15 t = 1.13 t
telaio 6	Rigid. = 0.61	Taglio = 0.98 t + 0.25 t = 1.23 t
telaio 7	Rigid. = 5.82	Taglio = 9.37 t + 3.20 t = 12.56 t



PIANO 3

forza	22.63 t	posizione :	x = 10.35 m	y = 5.64 m
taglio	88.95 t	posizione :	xQ = 10.26 m	yQ = 5.69 m
baricentro rigidezze :			xG = 8.36 m	yG = 5.93 m
Somma e momento d'inerzia rigidezze :			39.90	41.62 3331.06

FORZE IN DIREZIONE X

Qx = 88.95 t      Qy = 0.00 t      M = -21.58 tm

TELAI PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 14.31	Taglio = 31.90 t + 0.54 t = 32.44 t
telaio 2	Rigid. = 8.10	Taglio = 18.06 t + 0.07 t = 18.13 t
telaio 3	Rigid. = 10.88	Taglio = 24.26 t + -0.20 t = 24.06 t
telaio 4	Rigid. = 0.67	Taglio = 1.49 t + -0.03 t = 1.47 t
telaio 5	Rigid. = 5.94	Taglio = 13.24 t + -0.38 t = 12.86 t

TELAI PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 9.79	Taglio = 0.00 t + -0.52 t = -0.52 t
telaio 2	Rigid. = 9.81	Taglio = 0.00 t + -0.22 t = -0.22 t
telaio 3	Rigid. = 9.81	Taglio = 0.00 t + 0.02 t = 0.02 t
telaio 4	Rigid. = 5.01	Taglio = 0.00 t + 0.11 t = 0.11 t
telaio 5	Rigid. = 0.66	Taglio = 0.00 t + 0.03 t = 0.03 t
telaio 6	Rigid. = 0.66	Taglio = 0.00 t + 0.05 t = 0.05 t
telaio 7	Rigid. = 5.88	Taglio = 0.00 t + 0.55 t = 0.55 t

FORZE IN DIREZIONE Y

Qx = 0.00 t      Qy = 88.95 t      M = -169.61 tm

TELAI PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 14.31	Taglio = 0.00 t + 4.21 t = 4.21 t
telaio 2	Rigid. = 8.10	Taglio = 0.00 t + 0.57 t = 0.57 t
telaio 3	Rigid. = 10.88	Taglio = 0.00 t + -1.56 t = -1.56 t
telaio 4	Rigid. = 0.67	Taglio = 0.00 t + -0.22 t = -0.22 t
telaio 5	Rigid. = 5.94	Taglio = 0.00 t + -3.00 t = -3.00 t

TELAI PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 9.79	Taglio = 20.92 t + -4.09 t = 16.83 t
telaio 2	Rigid. = 9.81	Taglio = 20.97 t + -1.75 t = 19.21 t
telaio 3	Rigid. = 9.81	Taglio = 20.97 t + 0.15 t = 21.11 t
telaio 4	Rigid. = 5.01	Taglio = 10.71 t + 0.84 t = 11.55 t
telaio 5	Rigid. = 0.66	Taglio = 1.41 t + 0.22 t = 1.63 t
telaio 6	Rigid. = 0.66	Taglio = 1.41 t + 0.36 t = 1.77 t
telaio 7	Rigid. = 5.88	Taglio = 12.57 t + 4.28 t = 16.85 t

PIANO 2

forza 15.39 t      posizione :      x = 10.35 m      y = 5.64 m  
 taglio 104.34 t      posizione :      xQ = 10.28 m      yQ = 5.68 m  
 baricentro rigidezze :      xG = 8.28 m      yG = 5.90 m  
 Somma e momento d'inerzia rigidezze :      40.69      42.54      3374.55

FORZE IN DIREZIONE X

Qx = 104.34 t      Qy = 0.00 t      M = -23.50 tm

TELAI PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 14.63	Taglio = 37.52 t + 0.59 t = 38.10 t
telaio 2	Rigid. = 8.27	Taglio = 21.21 t + 0.08 t = 21.28 t
telaio 3	Rigid. = 11.17	Taglio = 28.64 t + -0.22 t = 28.42 t
telaio 4	Rigid. = 0.63	Taglio = 1.62 t + -0.03 t = 1.59 t
telaio 5	Rigid. = 5.99	Taglio = 15.36 t + -0.41 t = 14.95 t

TELAI PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 10.10	Taglio = 0.00 t + -0.57 t = -0.57 t
telaio 2	Rigid. = 10.10	Taglio = 0.00 t + -0.24 t = -0.24 t
telaio 3	Rigid. = 10.10	Taglio = 0.00 t + 0.03 t = 0.03 t
telaio 4	Rigid. = 5.08	Taglio = 0.00 t + 0.12 t = 0.12 t
telaio 5	Rigid. = 0.62	Taglio = 0.00 t + 0.03 t = 0.03 t
telaio 6	Rigid. = 0.62	Taglio = 0.00 t + 0.05 t = 0.05 t
telaio 7	Rigid. = 5.92	Taglio = 0.00 t + 0.59 t = 0.59 t

FORZE IN DIREZIONE Y

Qx = 0.00 t      Qy = 104.34 t      M = -208.52 tm

TELAI PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 14.63	Taglio = 0.00 t + 5.20 t = 5.20 t
telaio 2	Rigid. = 8.27	Taglio = 0.00 t + 0.69 t = 0.69 t
telaio 3	Rigid. = 11.17	Taglio = 0.00 t + -1.96 t = -1.96 t
telaio 4	Rigid. = 0.63	Taglio = 0.00 t + -0.25 t = -0.25 t
telaio 5	Rigid. = 5.99	Taglio = 0.00 t + -3.68 t = -3.68 t

TELAI PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 10.10	Taglio = 24.77 t + -5.07 t = 19.70 t
telaio 2	Rigid. = 10.10	Taglio = 24.77 t + -2.14 t = 22.63 t
telaio 3	Rigid. = 10.10	Taglio = 24.77 t + 0.23 t = 25.00 t
telaio 4	Rigid. = 5.08	Taglio = 12.46 t + 1.06 t = 13.52 t
telaio 5	Rigid. = 0.62	Taglio = 1.52 t + 0.25 t = 1.77 t
telaio 6	Rigid. = 0.62	Taglio = 1.52 t + 0.41 t = 1.93 t
telaio 7	Rigid. = 5.92	Taglio = 14.52 t + 5.26 t = 19.78 t

PIANO 1

forza	7.39 t	posizione :	x = 9.75 m	y = 6.33 m
taglio	111.73 t	posizione :	xQ = 10.24 m	yQ = 5.72 m
baricentro rigidzze :			xG = 9.07 m	yG = 6.25 m
Somma e momento d'inerzia rigidzze :			48.73	51.09    4431.28

FORZE IN DIREZIONE X

Qx = 111.73 t      Qy = 0.00 t      M = -58.74 tm

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 17.10	Taglio = 39.21 t + 1.38 t = 40.59 t
telaio 2	Rigid. = 9.45	Taglio = 21.67 t + 0.21 t = 21.88 t
telaio 3	Rigid. = 12.39	Taglio = 28.41 t + -0.41 t = 28.00 t
telaio 4	Rigid. = 1.31	Taglio = 3.00 t + -0.10 t = 2.90 t
telaio 5	Rigid. = 8.48	Taglio = 19.44 t + -1.08 t = 18.36 t

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 11.18	Taglio = 0.00 t + -1.32 t = -1.32 t
telaio 2	Rigid. = 11.18	Taglio = 0.00 t + -0.63 t = -0.63 t
telaio 3	Rigid. = 11.18	Taglio = 0.00 t + -0.06 t = -0.06 t
telaio 4	Rigid. = 6.52	Taglio = 0.00 t + 0.22 t = 0.22 t
telaio 5	Rigid. = 1.30	Taglio = 0.00 t + 0.10 t = 0.10 t
telaio 6	Rigid. = 1.30	Taglio = 0.00 t + 0.17 t = 0.17 t
telaio 7	Rigid. = 8.43	Taglio = 0.00 t + 1.52 t = 1.52 t

FORZE IN DIREZIONE Y

Qx = 0.00 t      Qy = 111.73 t      M = -130.51 tm

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE X

telaio 1	Rigid. = 17.10	Taglio = 0.00 t + 3.07 t = 3.07 t
telaio 2	Rigid. = 9.45	Taglio = 0.00 t + 0.47 t = 0.47 t
telaio 3	Rigid. = 12.39	Taglio = 0.00 t + -0.91 t = -0.91 t
telaio 4	Rigid. = 1.31	Taglio = 0.00 t + -0.23 t = -0.23 t
telaio 5	Rigid. = 8.48	Taglio = 0.00 t + -2.40 t = -2.40 t

TELAJ PARALLELI ALL'ASSE Y

telaio 1	Rigid. = 11.18	Taglio = 24.45 t + -2.94 t = 21.51 t
telaio 2	Rigid. = 11.18	Taglio = 24.45 t + -1.39 t = 23.06 t
telaio 3	Rigid. = 11.18	Taglio = 24.45 t + -0.14 t = 24.31 t
telaio 4	Rigid. = 6.52	Taglio = 14.26 t + 0.49 t = 14.75 t
telaio 5	Rigid. = 1.30	Taglio = 2.84 t + 0.22 t = 3.06 t
telaio 6	Rigid. = 1.30	Taglio = 2.84 t + 0.38 t = 3.22 t
telaio 7	Rigid. = 8.43	Taglio = 18.44 t + 3.37 t = 21.81 t

### 9.3.3. Iterazione del procedimento.

Nelle pagine precedenti, per evidenziare l'effetto della rotazione, si sono fatte stampare separatamente le due aliquote di taglio dovute rispettivamente alla traslazione (e quindi coincidenti, a meno di errori di arrotondamento, con i valori del telaio traslante) ed alla rotazione (conseguenti all'eccentricità tra baricentro del taglio e delle rigidezze).

I risultati della ripartizione, per forze agenti in direzione  $x$ , confermano la scarsa rilevanza della rotazione. Essa infatti incrementa del 3.5% il taglio nel telaio 1 (alla base, 40.59 t anziché 39.21 t), lo decrementa del 5.5% nel telaio 5 (18.36 t anziché 19.44 t). Tali differenze sono modeste e potrebbe quindi evitarsi la risoluzione di ulteriori schemi.

Per forze agenti in direzione  $y$ , invece, la rotazione conseguente alla forte eccentricità comporta sia l'insorgere di sollecitazioni nei telai perpendicolari alla direzione del sisma (comunque trascurabili, perchè di entità inferiore a quelle prodotte dal sisma in direzione  $x$ ), sia notevoli variazioni nella distribuzione del taglio tra i telai paralleli all'asse  $y$ . Nel telaio 7 l'incremento del taglio è compreso tra il 30% e il 40% a tutti i livelli, escluso il primo, per il quale è inferiore al 20%. Viceversa, per il telaio 1 si ha una riduzione del taglio di circa il 20% (12% al primo piano). Le differenze rispetto al telaio traslante non possono quindi assolutamente essere trascurate e diventa necessario iterare il procedimento, effettuando la risoluzione degli schemi dei singoli telai, ciascuno caricato con le forze fornite da questa prima ripartizione.

Il nuovo calcolo è necessario per tutti i telai paralleli all'asse  $y$ . A titolo di esempio si riportano in dettaglio solo le elaborazioni relative al settimo telaio in direzione  $y$ , cioè quello per il quale sono più sensibili gli effetti della rotazione.

Le forze su esso agenti si determinano come differenza tra i tagli di piani consecutivi. Si ha così:

piano 5	taglio = 6.50 t	forza = 6.50 t
piano 4	taglio = 12.56 t	forza = 6.06 t
piano 3	taglio = 16.85 t	forza = 4.29 t
piano 2	taglio = 19.78 t	forza = 2.93 t
piano 1	taglio = 21.81 t	forza = 2.03 t

Lo schema è stato risolto con le modalità già descritte in precedenza, ottenendo i risultati riportati di seguito.

TELAIO 7 y

ALTEZZA DEI PIANI

piano	altezza (m)
5	3.20
4	3.20
3	3.20
2	3.20
1	3.60

LUCI E SEZIONI DELLE TRAVI

campata	luce (m)	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
27 - 20	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
20 - 13	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				

SEZIONI DEI PILASTRI

pilastro	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
27	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
20	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
13	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				

Modulo di elasticità = 250000 kg/cm<sup>2</sup>

CARICHI

FORZE ORIZZONTALI

piano	forza (t)
5	6.50
4	6.06
3	4.29
2	2.93
1	2.03

RISULTATI

SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	12.343
4	10.933
3	8.768
2	5.907
1	2.678

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano	momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
27 - 20	5	3.34	-3.10	-1.57	-1.57
27 - 20	4	8.22	-7.67	-3.88	-3.88
27 - 20	3	11.93	-11.06	-5.61	-5.61
27 - 20	2	14.57	-13.57	-6.86	-6.86
27 - 20	1	14.93	-13.59	-6.96	-6.96
20 - 13	5	3.10	-3.34	-1.57	-1.57
20 - 13	4	7.67	-8.22	-3.88	-3.88
20 - 13	3	11.06	-11.93	-5.61	-5.61
20 - 13	2	13.57	-14.57	-6.86	-6.86
20 - 13	1	13.59	-14.93	-6.96	-6.96

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
27	5	3.34	-1.60	1.55	1.57
27	4	6.62	-3.89	3.29	5.45
27	3	8.03	-6.15	4.43	11.05
27	2	8.42	-7.95	5.11	17.92
27	1	6.98	-16.78	6.60	24.87
20	5	6.20	-4.71	3.41	-0.00
20	4	10.63	-8.54	5.99	-0.00
20	3	13.58	-11.97	7.98	-0.00
20	2	15.18	-15.39	9.55	-0.00
20	1	11.80	-19.19	8.61	-0.00
13	5	3.34	-1.60	1.55	-1.57
13	4	6.62	-3.89	3.29	-5.45
13	3	8.03	-6.15	4.43	-11.05
13	2	8.42	-7.95	5.11	-17.92
13	1	6.98	-16.78	6.60	-24.87

Gli spostamenti relativi tra i traversi assumono i seguenti valori:

interpiano 5	spostamento relativo:	1.410 mm
interpiano 4	spostamento relativo:	2.165 mm
interpiano 3	spostamento relativo:	2.861 mm
interpiano 2	spostamento relativo:	3.229 mm
interpiano 1	spostamento relativo:	2.678 mm

Dividendo il taglio per lo spostamento relativo si ottiene la rigidezza del telaio ai singoli piani:

piano	taglio	rigidezza	valore precedente
5	6.50	4.61	4.54
4	12.56	5.80	5.82
3	16.85	5.89	5.88
2	19.78	6.13	5.92
1	21.81	8.14	8.43

A fianco al nuovo valore della rigidezza è riportato, per rendere più immediato il confronto, il valore ottenuto dalla risoluzione del telaio spaziale traslante. Appare evidente che, nonostante la sensibile differenza tra le forze applicate, i nuovi valori determinati sono quasi coincidenti con quelli precedenti (il massimo scarto, al primo piano, è inferiore al 4%). Ciò è dovuto al fatto che, in conseguenza all'adozione di sezioni uguali a tutti i

livelli, le forze ottenute con la prima ripartizione, utilizzate per determinare le nuove rigidezze, sono quasi proporzionali a quelle assorbite dal telaio nello schema precedente (telaio spaziale traslante).

In maniera analoga si è proceduto per gli altri telai paralleli alla direzione y. Il calcolo è stato ripetuto anche per quelli paralleli alla direzione x, pur non essendo ciò strettamente necessario data la modesta entità dell'effetto prodotto su essi dalla rotazione. Si riportano di seguito i valori ottenuti per la rigidezza.

telaio	piano	rigidezza	valore precedente
1 x	5	12.12	12.17
	4	14.23	14.22
	3	14.31	14.31
	2	14.57	14.63
	1	17.16	17.10
2 x	5	7.15	7.16
	4	8.02	8.01
	3	8.10	8.10
	2	8.26	8.27
	1	9.46	9.45
3 x	5	9.59	9.58
	4	10.80	10.80
	3	10.89	10.88
	2	11.18	11.17
	1	12.37	12.39
4 x	5	0.59	0.58
	4	0.63	0.63
	3	0.67	0.67
	2	0.63	0.63
	1	1.31	1.31
5 x	5	4.63	4.59
	4	5.88	5.88
	3	5.94	5.94
	2	6.03	5.99
	1	8.42	8.48



telaio	piano	rigidezza	valore precedente
1 y	5	8.46	8.52
	4	9.76	9.73
	3	9.80	9.79
	2	9.90	10.10
	1	11.41	11.18
2 y	5	8.51	8.51
	4	9.74	9.74
	3	9.80	9.81
	2	10.04	10.10
	1	11.26	11.18
3 y	5	8.54	8.51
	4	9.73	9.74
	3	9.80	9.81
	2	10.13	10.10
	1	11.15	11.18
4 y	5	4.10	4.08
	4	4.95	4.96
	3	5.01	5.01
	2	5.13	5.08
	1	6.45	6.52
5 y	5	0.58	0.57
	4	0.61	0.61
	3	0.67	0.66
	2	0.64	0.62
	1	1.28	1.30
6 y	5	0.58	0.57
	4	0.61	0.61
	3	0.67	0.66
	2	0.64	0.62
	1	1.26	1.30

telaio	piano	rigidezza	valore precedente
7 y	5	4.61	4.54
	4	5.80	5.82
	3	5.89	5.88
	2	6.13	5.92
	1	8.14	8.43

La sostanziale coincidenza tra valori nuovi e vecchi della rigidezza, riscontrata nel telaio 7 y, è confermata dall'esame globale dei risultati. Utilizzando questi ultimi nell'applicare nuovamente le formule per la ripartizione del taglio tra i telai si otterranno quindi valori che differiscono dai precedenti solo per quantità trascurabili ai fini pratici.

Pertanto, per l'edificio in esame spostamenti e caratteristiche di sollecitazione determinati nei singoli telai piani caricati con le forze fornite dalla prima ripartizione possono essere considerati soluzioni sostanzialmente valide dello schema spaziale.

## CAPITOLO X

### RISOLUZIONE DELLO SCHEMA SOGGETTO A CARICHI VERTICALI

Data la sostanziale regolarità della struttura, si ritiene valido esaminare separatamente i singoli telai piani soggetti ai carichi verticali su essi direttamente gravanti.

Per controllare la correttezza di questa ipotesi, si è preso in esame il settimo telaio parallelo all'asse  $y$ , che presenta una sensibile dissimmetria di carico a causa dell'esistenza di uno sbalzo del solaio gravante solo su una campata. Utilizzando il programma per il calcolo di telai piani a maglie rettangolari riportato nella terza parte del testo, si sono effettuate due distinte elaborazioni, i cui risultati sono riportati nelle pagine seguenti. Nella prima i traversi sono stati considerati liberi di traslare, nella seconda si è invece imposto che i nodi siano fissi.

Dai risultati del secondo schema si possono ricavare le reazioni dei vincoli fittizi, necessarie per assicurare l'equilibrio alla traslazione dei traversi. I valori ottenuti sono molto bassi ( $-0.11$ ,  $-0.11$ ,  $0.04$ ,  $0.00$ ,  $0.15$  t nell'ordine dal primo al quinto piano). Queste forze, cambiate di segno, insieme alle analoghe determinate per i restanti telai, andrebbero applicate allo schema spaziale per valutare esattamente l'effetto della traslazione e della rotazione dell'impalcato. La loro modesta entità rende però inutile questo ulteriore calcolo.

Una conferma della piccolezza dell'effetto della traslazione si ha confrontando le caratteristiche di sollecitazione determinate con i due schemi.

La massima differenza tra i momenti flettenti è pari a 0.15 tm, valore sicuramente ininfluenza ai fini della verifica o della entità delle armature da disporre.

# TELAIO 7 Y A MODI SPOSTABILI CON CARICHI VERTICALI

## ALTEZZA DEI PIANI

piano	altezza (m)
5	3.20
4	3.20
3	3.20
2	3.20
1	3.60

## LUCI E SEZIONI DELLE TRAVI

campata	luce (m)	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
27 - 20	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
20 - 13	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				

## SEZIONI DEI PILASTRI

pilastro	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
27	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
20	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
13	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				

Modulo di elasticità = 250000 kg/cm<sup>2</sup>

CARICHI

CARICHI VERTICALI

campata	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)
27 - 20	5	1.87	4	3.56	3	3.56	2	3.56
	1	1.37						
20 - 13	5	0.93	4	1.37	3	1.37	2	1.37
	1	1.37						

RISULTATI

SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	0.091
4	0.066
3	0.040
2	0.013
1	-0.000

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano	momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
27 - 20	5	-2.21	-2.72	3.71	-3.96
	4	-4.35	-5.03	7.13	-7.47
	3	-4.35	-5.07	7.12	-7.48
	2	-4.29	-4.99	7.13	-7.47
	1	-1.64	-2.15	2.68	-2.93
20 - 13	5	-1.53	-1.06	2.02	-1.79
	4	-2.34	-1.62	2.99	-2.63
	3	-2.31	-1.60	2.98	-2.63
	2	-2.44	-1.56	3.02	-2.59
	1	-1.97	-1.63	2.89	-2.73

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
27	5	-2.21	2.20	-1.38	-3.71
27	4	-2.15	2.12	-1.33	-10.84
27	3	-2.23	2.35	-1.43	-17.96
27	2	-1.94	1.23	-0.99	-25.09
27	1	-0.41	0.20	-0.17	-27.77
20	5	1.18	-1.30	0.78	-5.98
20	4	1.39	-1.33	0.85	-16.43
20	3	1.43	-1.58	0.94	-26.89
20	2	0.98	-0.39	0.43	-37.38
20	1	-0.22	0.11	-0.09	-43.21
13	5	1.06	-0.87	0.60	-1.79
13	4	0.75	-0.79	0.48	-4.42
13	3	0.80	-0.77	0.49	-7.06
13	2	0.79	-1.01	0.56	-9.65
13	1	0.62	-0.31	0.26	-12.37

TELAIO 7 Y A NODI FISSI CON CARICHI VERTICALI

I dati geometrici sono identici al caso precedente.

CARICHI

CARICHI VERTICALI

campata	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)
27 - 20	5	1.87	4	3.56	3	3.56	2	3.56
	1	1.37						
20 - 13	5	0.93	4	1.37	3	1.37	2	1.37
	1	1.37						

RISULTATI

SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	0.000
4	0.000
3	0.000
2	0.000
1	0.000

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano	momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
27 - 20	5	-2.27	-2.66	3.74	-3.93
27 - 20	4	-4.47	-4.92	7.19	-7.41
27 - 20	3	-4.48	-4.95	7.18	-7.41
27 - 20	2	-4.39	-4.90	7.17	-7.42
27 - 20	1	-1.66	-2.13	2.70	-2.92

20 - 13	5	-1.59	-0.99	2.05	-1.76
20 - 13	4	-2.46	-1.50	3.04	-2.57
20 - 13	3	-2.43	-1.47	3.04	-2.57
20 - 13	2	-2.53	-1.46	3.07	-2.55
20 - 13	1	-2.00	-1.61	2.90	-2.71

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
27	5	-2.27	2.26	-1.42	-3.74
27	4	-2.21	2.18	-1.37	-10.93
27	3	-2.30	2.45	-1.48	-18.11
27	2	-1.94	1.29	-1.01	-25.28
27	1	-0.37	0.19	-0.16	-27.98
20	5	1.07	-1.19	0.71	-5.98
20	4	1.27	-1.22	0.78	-16.43
20	3	1.30	-1.43	0.85	-26.89
20	2	0.94	-0.31	0.39	-37.38
20	1	-0.19	0.09	-0.08	-43.21
13	5	0.99	-0.81	0.56	-1.76
13	4	0.68	-0.74	0.44	-4.33
13	3	0.73	-0.68	0.44	-6.91
13	2	0.78	-0.95	0.54	-9.45
13	1	0.66	-0.33	0.27	-12.17



## CAPITOLO XI

### VERIFICA E ARMATURA DELLE TRAVI

Nella pratica professionale occorre ovviamente verificare ed armare tutte le travi dell'edificio. Un controllo di massima della struttura del fabbricato analizzato nel testo è stato effettuato nel capitolo 9. A titolo di esempio si prende quindi ora in esame una trave del primo impalcato, appartenente al telaio 2y (pilastri 22-15-8-5-2).

#### 11.1. Schemi di carico.

Nel capitolo 5 si è determinata l'entità dei carichi verticali, minimi e massimi, gravanti sul telaio 2y. Nel capitolo 9 si è invece calcolato quale aliquota delle azioni orizzontali viene da esso sopportata. È quindi possibile valutare le caratteristiche di sollecitazione che insorgono nel telaio analizzandolo separatamente dagli altri.

Per brevità si è effettuato il calcolo considerando sempre presenti i massimi carichi verticali, valutando solo in via approssimata l'effetto dell'assenza dei sovraccarichi. Si sono risolti quindi i due schemi base (solo forze orizzontali e solo carichi verticali), nonché due schemi nei quali i carichi verticali sono accoppiati alle forze agenti rispettivamente verso destra (cioè col segno positivo) e verso sinistra (cioè col segno negativo).

Nelle pagine che seguono sono riportati i dati geometrici e di carico ed i risultati ottenuti. Nelle figure 18 e 19 sono rappresentati i diagrammi del

momento flettente conseguenti rispettivamente alle forze orizzontali ed ai carichi verticali, considerati separatamente.

TELAIO 2 y

ALTEZZA DEI PIANI

piano	altezza (m)
5	3.20
4	3.20
3	3.20
2	3.20
1	3.60

LUCI E SEZIONI DELLE TRAVI

campata	luce (m)	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
22 - 15	4.30	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
15 - 8	4.10	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
8 - 5	3.70	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				
5 - 2	3.60	5	0.30	0.50	0.003125	4	0.30	0.60	0.005400
		3	0.30	0.60	0.005400	2	0.30	0.60	0.005400
		1	0.30	0.60	0.005400				

SEZIONI DEI PILASTRI

pilastro	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )	piano	B (m)	H (m)	inerzia (m <sup>4</sup> )
22	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				
15	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				

8	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
5	5	0.30	0.70	0.008575	4	0.30	0.70	0.008575
	3	0.30	0.70	0.008575	2	0.30	0.70	0.008575
	1	0.30	0.70	0.008575				
2	5	0.70	0.30	0.001575	4	0.70	0.30	0.001575
	3	0.70	0.30	0.001575	2	0.70	0.30	0.001575
	1	0.70	0.30	0.001575				

Modulo di elasticità = 250000 kg/cm<sup>2</sup>

CONDIZIONE DI CARICO N. 1

#### FORZE ORIZZONTALI

piano	forza (t)
5	8.03
4	6.34
3	4.84
2	3.42
1	0.43

#### RISULTATI

#### SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	8.680
4	7.737
3	6.262
2	4.302
1	2.048

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano	momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
22 - 15	5	1.35	-1.64	-0.70	-0.70
22 - 15	4	3.42	-4.14	-1.76	-1.76
22 - 15	3	4.93	-6.01	-2.54	-2.54
22 - 15	2	6.12	-7.42	-3.15	-3.15
22 - 15	1	6.10	-7.73	-3.22	-3.22
15 - 8	5	1.99	-1.96	-0.96	-0.96
15 - 8	4	5.00	-4.92	-2.42	-2.42
15 - 8	3	7.30	-7.15	-3.52	-3.52
15 - 8	2	8.99	-8.83	-4.35	-4.35
15 - 8	1	9.57	-9.33	-4.61	-4.61
8 - 5	5	2.13	-2.15	-1.16	-1.16
8 - 5	4	5.37	-5.39	-2.91	-2.91
8 - 5	3	7.81	-7.85	-4.23	-4.23
8 - 5	2	9.65	-9.68	-5.22	-5.22
8 - 5	1	10.15	-10.24	-5.51	-5.51
5 - 2	5	1.84	-1.46	-0.92	-0.92
5 - 2	4	4.64	-3.72	-2.32	-2.32
5 - 2	3	6.72	-5.34	-3.35	-3.35
5 - 2	2	8.31	-6.63	-4.15	-4.15
5 - 2	1	8.57	-6.53	-4.20	-4.20

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro	piano	momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
22	5	1.35	-1.23	0.81	0.70
22	4	2.19	-2.04	1.32	2.45
22	3	2.89	-2.76	1.76	5.00
22	2	3.36	-3.40	2.11	8.15
22	1	2.70	-3.21	1.64	11.36
15	5	3.64	-2.57	1.94	0.27
15	4	6.58	-4.98	3.61	0.93
15	3	8.32	-7.16	4.84	1.91
15	2	9.25	-8.80	5.64	3.11
15	1	8.50	-14.41	6.36	4.50
8	5	4.09	-3.06	2.23	0.19
8	4	7.22	-5.74	4.05	0.68
8	3	9.22	-8.09	5.41	1.39
8	2	10.38	-10.11	6.40	2.27
8	1	9.38	-14.85	6.73	3.17

5	5	3.98	-2.95	2.17	-0.24
5	4	7.08	-5.56	3.95	-0.83
5	3	9.01	-7.89	5.28	-1.71
5	2	10.10	-9.72	6.19	-2.78
5	1	9.09	-14.71	6.61	-4.10
2	5	1.46	-1.36	0.88	-0.92
2	4	2.36	-2.23	1.43	-3.24
2	3	3.11	-3.00	1.91	-6.59
2	2	3.63	-3.68	2.28	-10.74
2	1	2.86	-3.30	1.71	-14.94

## CONDIZIONE DI CARICO N. 2

## CARICHI VERTICALI

campata	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)
22 - 15	5	3.38	4	3.84	3	3.84	2	3.84
	1	3.99						
15 - 8	5	3.38	4	3.84	3	3.84	2	3.84
	1	3.84						
8 - 5	5	3.51	4	3.99	3	3.99	2	3.99
	1	3.99						
5 - 2	5	3.51	4	3.99	3	3.99	2	3.99
	1	3.99						

## RISULTATI

## SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	-0.042
4	-0.031

3	-0.024
2	-0.016
1	-0.006

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata piano			momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
22	- 15	5	-2.47	-6.34	6.37	-8.17
22	- 15	4	-3.52	-6.99	7.45	-9.06
22	- 15	3	-3.25	-7.05	7.37	-9.14
22	- 15	2	-3.34	-7.04	7.40	-9.12
22	- 15	1	-3.02	-7.43	7.55	-9.60
15	- 8	5	-5.13	-4.45	7.09	-6.76
15	- 8	4	-5.62	-5.18	7.98	-7.77
15	- 8	3	-5.71	-5.13	8.02	-7.73
15	- 8	2	-5.66	-5.15	8.00	-7.75
15	- 8	1	-5.84	-5.05	8.07	-7.68
8	- 5	5	-4.06	-4.09	6.48	-6.50
8	- 5	4	-4.65	-4.54	7.41	-7.35
8	- 5	3	-4.62	-4.60	7.39	-7.37
8	- 5	2	-4.64	-4.57	7.40	-7.36
8	- 5	1	-4.62	-4.63	7.38	-7.38
5	- 2	5	-4.77	-1.60	7.20	-5.44
5	- 2	4	-5.28	-2.30	8.01	-6.35
5	- 2	3	-5.32	-2.13	8.07	-6.30
5	- 2	2	-5.32	-2.17	8.06	-6.31
5	- 2	1	-5.41	-1.88	8.16	-6.20

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
22	5	-2.47	1.98	-1.39	-6.37
22	4	-1.54	1.60	-0.98	-13.82
22	3	-1.64	1.62	-1.02	-21.19
22	2	-1.72	1.85	-1.12	-28.58
22	1	-1.17	0.59	-0.49	-36.14
15	5	1.21	-0.81	0.63	-15.26
15	4	0.56	-0.65	0.38	-32.30
15	3	0.69	-0.64	0.42	-49.46
15	2	0.74	-0.92	0.52	-66.57
15	1	0.66	-0.30	0.27	-84.24

8	5	0.39	-0.29	0.21	-13.25
8	4	0.24	-0.25	0.15	-28.43
8	3	0.26	-0.26	0.16	-43.54
8	2	0.25	-0.26	0.16	-58.69
8	1	0.17	-0.05	0.06	-73.75
5	5	-0.67	0.47	-0.36	-13.70
5	4	-0.28	0.34	-0.19	-29.06
5	3	-0.38	0.35	-0.23	-44.50
5	2	-0.40	0.47	-0.27	-59.92
5	1	-0.31	0.19	-0.14	-75.47
2	5	1.60	-1.29	0.90	-5.44
2	4	1.02	-1.05	0.65	-11.79
2	3	1.07	-1.07	0.67	-18.09
2	2	1.11	-1.16	0.71	-24.40
2	1	0.72	-0.35	0.30	-30.60

CONDIZIONE DI CARICO N. 3

CARICHI VERTICALI

campata	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)
22 - 15	5	3.38	4	3.84	3	3.84	2	3.84
	1	3.99						
15 - 8	5	3.38	4	3.84	3	3.84	2	3.84
	1	3.84						
8 - 5	5	3.51	4	3.99	3	3.99	2	3.99
	1	3.99						
5 - 2	5	3.51	4	3.99	3	3.99	2	3.99
	1	3.99						

FORZE ORIZZONTALI

piano	forza (t)
5	8.03

4	6.34
3	4.84
2	3.42
1	0.43

# RISULTATI

## SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	8.638
4	7.705
3	6.238
2	4.286
1	2.042

## CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

campata	piano		momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
22 - 15	5		-1.12	-7.98	5.67	-8.86
22 - 15	4		-0.10	-11.12	5.69	-10.82
22 - 15	3		1.68	-13.07	4.83	-11.69
22 - 15	2		2.78	-14.45	4.25	-12.27
22 - 15	1		3.08	-15.15	4.34	-12.82
15 - 8	5		-3.13	-6.40	6.13	-7.73
15 - 8	4		-0.61	-10.10	5.56	-10.19
15 - 8	3		1.58	-12.28	4.49	-11.25
15 - 8	2		3.33	-13.98	3.65	-12.09
15 - 8	1		3.73	-14.38	3.46	-12.29
8 - 5	5		-1.92	-6.24	5.33	-7.66
8 - 5	4		0.72	-9.93	4.50	-10.26
8 - 5	3		3.19	-12.45	3.16	-11.61
8 - 5	2		5.00	-14.25	2.18	-12.59
8 - 5	1		5.53	-14.87	1.87	-12.90
5 - 2	5		-2.93	-3.06	6.28	-6.35
5 - 2	4		-0.64	-6.02	5.69	-8.68
5 - 2	3		1.41	-7.47	4.72	-9.65
5 - 2	2		2.99	-8.80	3.91	-10.46
5 - 2	1		3.17	-8.41	3.97	-10.40



## CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
22	5	-1.12	0.75	-0.58	-5.67
22	4	0.65	-0.44	0.34	-11.36
22	3	1.24	-1.14	0.75	-16.19
22	2	1.63	-1.55	1.00	-20.44
22	1	1.53	-2.62	1.15	-24.77
15	5	4.85	-3.38	2.57	-14.99
15	4	7.13	-5.64	3.99	-31.37
15	3	9.01	-7.80	5.25	-47.55
15	2	9.99	-9.72	6.16	-63.46
15	1	9.16	-14.71	6.63	-79.74
8	5	4.48	-3.35	2.45	-13.05
8	4	7.46	-5.99	4.20	-27.74
8	3	9.48	-8.35	5.57	-42.15
8	2	10.63	-10.37	6.56	-56.43
8	1	9.55	-14.91	6.79	-70.58
5	5	3.31	-2.49	1.81	-13.94
5	4	6.80	-5.22	3.76	-29.89
5	3	8.64	-7.55	5.06	-46.21
5	2	9.69	-9.25	5.92	-62.70
5	1	8.78	-14.52	6.47	-79.56
2	5	3.06	-2.65	1.78	-6.35
2	4	3.37	-3.28	2.08	-15.03
2	3	4.19	-4.07	2.58	-24.68
2	2	4.73	-4.83	2.99	-35.14
2	1	3.58	-3.65	2.01	-45.53

CONDIZIONE DI CARICO N. 4

## CARICHI VERTICALI

campata	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)	piano	carico (t/m)
22 - 15	5	3.38	4	3.84	3	3.84	2	3.84
	1	3.99						

15	-	8	5	3.38	4	3.84	3	3.84	2	3.84
			1	3.84						
8	-	5	5	3.51	4	3.99	3	3.99	2	3.99
			1	3.99						
5	-	2	5	3.51	4	3.99	3	3.99	2	3.99
			1	3.99						

#### FORZE ORIZZONTALI

piano	forza (t)
5	-8.03
4	-6.34
3	-4.84
2	-3.42
1	-0.43

#### RISULTATI

#### SPOSTAMENTO DEGLI IMPALCATI

impalcato	spostamento (mm)
5	-8.723
4	-7.768
3	-6.285
2	-4.318
1	-2.055

#### CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NELLE TRAVI

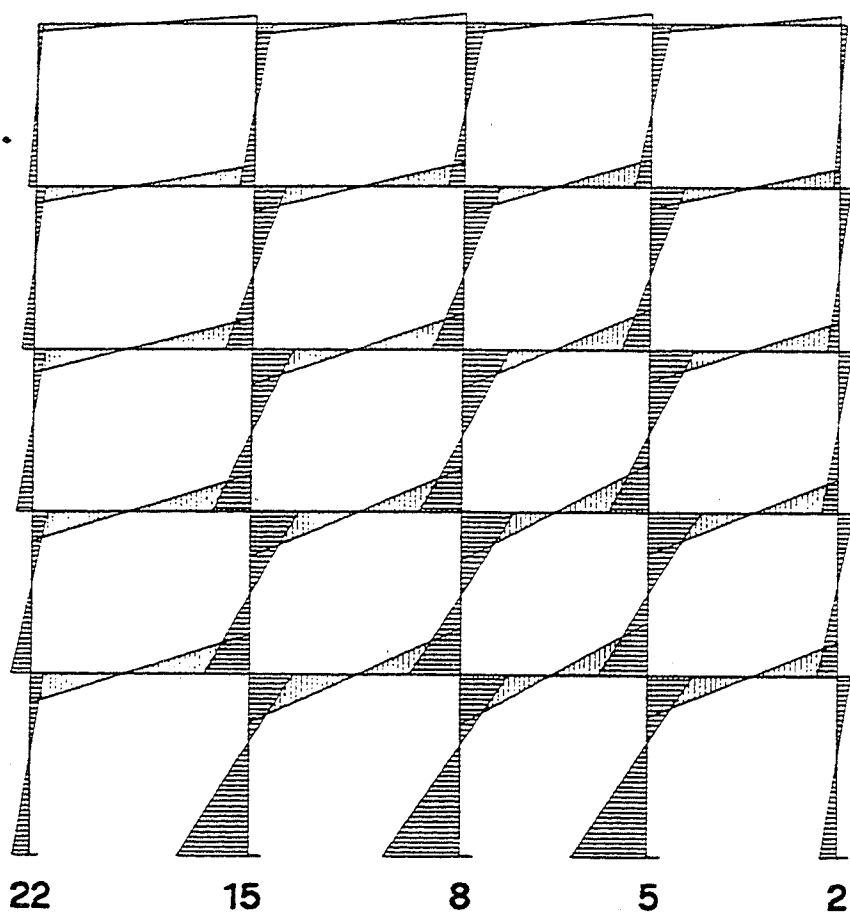
campata	piano		momento a sinistra (tm)	momento a destra (tm)	taglio a sinistra (t)	taglio a destra (t)
22 - 15	5		-3.82	-4.70	7.06	-7.47
22 - 15	4		-6.94	-2.85	9.21	-7.30
22 - 15	3		-8.17	-1.04	9.91	-6.60
22 - 15	2		-9.46	0.38	10.54	-5.97
22 - 15	1		-9.12	0.30	10.77	-6.39

15 - 8	5	-7.12	-2.49	8.06	-5.80
15 - 8	4	-10.62	-0.27	10.40	-5.35
15 - 8	3	-13.01	2.03	11.54	-4.20
15 - 8	2	-14.65	3.68	12.34	-3.40
15 - 8	1	-15.41	4.28	12.57	-3.07
8 - 5	5	-6.19	-1.95	7.64	-5.35
8 - 5	4	-10.02	0.85	10.32	-4.44
8 - 5	3	-12.43	3.25	11.62	-3.14
8 - 5	2	-14.29	5.11	12.63	-2.14
8 - 5	1	-14.77	5.61	12.89	-1.87
5 - 2	5	-6.61	-0.14	8.12	-4.52
5 - 2	4	-9.92	1.42	10.33	-4.03
5 - 2	3	-12.04	3.22	11.42	-2.94
5 - 2	2	-13.63	4.46	12.21	-2.16
5 - 2	1	-13.98	4.66	12.36	-2.00

## CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE NEI PILASTRI

pilastro piano		momento sup. (tm)	momento inf. (tm)	taglio (t)	sforzo normale (t)
22	5	-3.82	3.21	-2.20	-7.06
22	4	-3.73	3.65	-2.31	-16.27
22	3	-4.53	4.38	-2.78	-26.19
22	2	-5.08	5.25	-3.23	-36.73
22	1	-3.86	3.81	-2.13	-47.50
15	5	-2.42	1.75	-1.31	-15.53
15	4	-6.02	4.33	-3.24	-33.23
15	3	-7.63	6.52	-4.42	-51.37
15	2	-8.50	7.87	-5.12	-69.68
15	1	-7.84	14.12	-6.10	-88.74
8	5	-3.70	2.77	-2.02	-13.44
8	4	-6.98	5.49	-3.90	-29.11
8	3	-8.97	7.84	-5.25	-44.93
8	2	-10.13	9.84	-6.24	-60.96
8	1	-9.21	14.80	-6.67	-76.92
5	5	-4.66	3.42	-2.52	-13.46
5	4	-7.35	5.90	-4.14	-28.24
5	3	-9.39	8.24	-5.51	-42.80
5	2	-10.50	10.19	-6.47	-57.14
5	1	-9.40	14.90	-6.75	-71.37
2	5	0.14	0.08	0.02	-4.52
2	4	-1.34	1.18	-0.79	-8.55
2	3	-2.04	1.94	-1.24	-11.50
2	2	-2.52	2.52	-1.57	-13.66
2	1	-2.14	2.94	-1.41	-15.66

# CONDIZIONE DI CARICO F.O.



SCALA

Lunghezze	1 : 50	
Momenti	1 cm = 5 tm	

FIG.18

# CONDIZIONE DI CARICO : CARICHI VERTICALI MAX

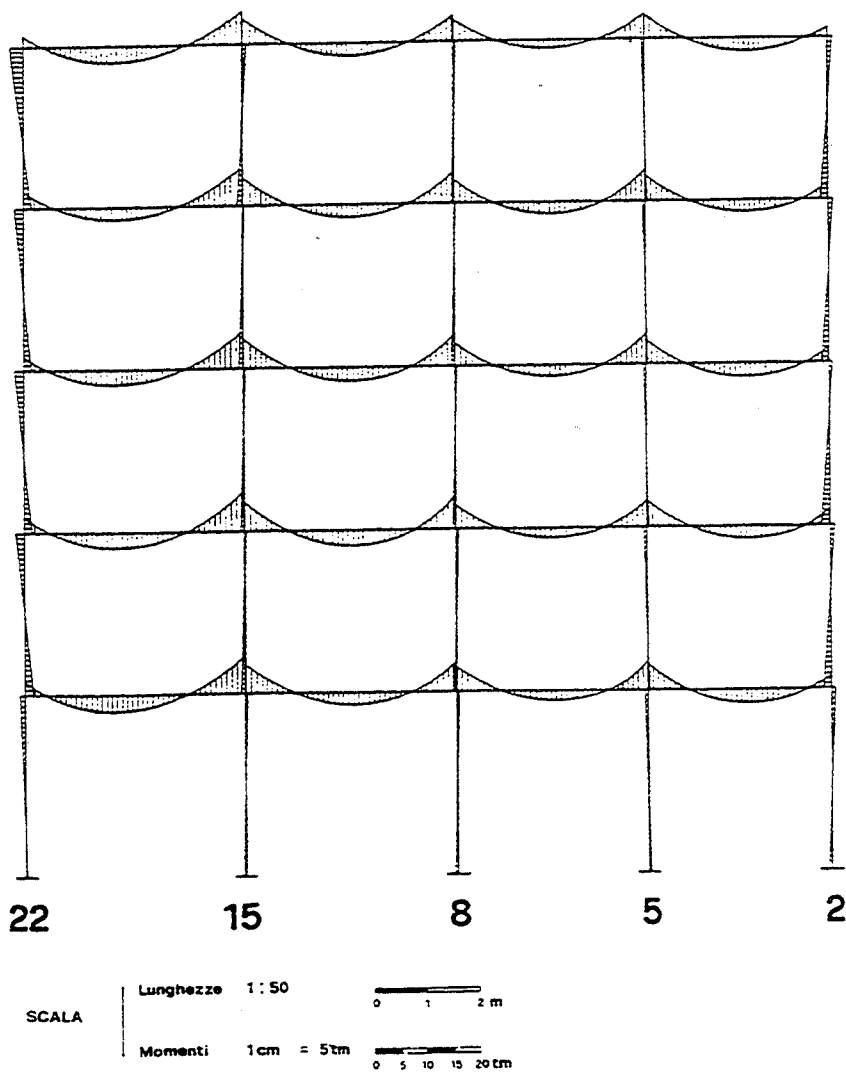


FIG.19

I valori forniti dalla risoluzione dello schema di telaio piano sono stati utilizzati per tracciare il diagramma di involucro del momento flettente, riportato in figura 20. Per ciascuna campata sono indicate due curve, che rappresentano l'effetto combinato di carichi verticali ed azioni orizzontali (agenti nei due versi). Si può immediatamente notare la sensibile differenza rispetto agli usuali diagrammi conseguenti a soli carichi verticali. Agli estremi si ha infatti un'inversione del segno del momento, e in conseguenza a ciò il massimo momento positivo si ha non in mezzzeria bensì in prossimità dei pilastri. Questa situazione è tanto più accentuata quanto più rilevante è l'effetto del sisma rispetto a quello dei carichi verticali, ed è quindi massima nelle campate più corte e rigide, come la 8-5.

Nel diagramma è riportata anche una terza curva, corrispondente allo schema di singole campate semplicemente appoggiate agli estremi; il carico verticale considerato è la metà di quello realmente agente, poiché questo è uno schema limite valido solo a rottura. Nel caso in esame i valori da esso forniti sono di poco rilievo, perché sostanzialmente contenuti entro quelli dei primi due schemi. Esso può invece diventare condizionante nel caso di travi che risentono in misura limitata dell'azione sismica, cioè in campate a spessore oppure poste negli impalcati superiori.

L'effetto provocato dalla parziale o totale assenza dei sovraccarichi è stato valutato solo in maniera approssimata ed è quindi riportato nel diagramma con brevi tratti curvilinei con linea tratteggiata.

La presenza dei soli carichi fissi comporta una diminuzione del momento negativo (ovvero un incremento di quello positivo) agli estremi delle campate. Nella trave presa in considerazione i sovraccarichi rappresentano in tutte le campate circa il 25% del carico totale. Il loro effetto può quindi essere stimato come una percentuale dei valori forniti dal secondo schema di carico, in cui agiscono i carichi verticali massimi. Ad esempio, per il primo estremo della campata 8-5 esso è pari a circa  $4.62 \times 0.25 = 1.16$  tm; questo valore va sommato a quello valutato per carichi verticali e forze verso destra (5.53 tm). L'incremento così ottenuto comporta una lieve maggiorazione del massimo momento positivo nella seconda, terza e quarta campata. L'effetto diventa irrilevante quando il carico totale è basso, perché in tal caso la variazione è in assoluto modesta. Può ugualmente essere trascurato quando le azioni orizzontali non comportano inversione del momento agli estremi.

L'effetto dei sovraccarichi a scacchiera può essere valutato facendo riferimento ad uno schema ideale di trave continua ad infinite campate, con uguale luce e carico.

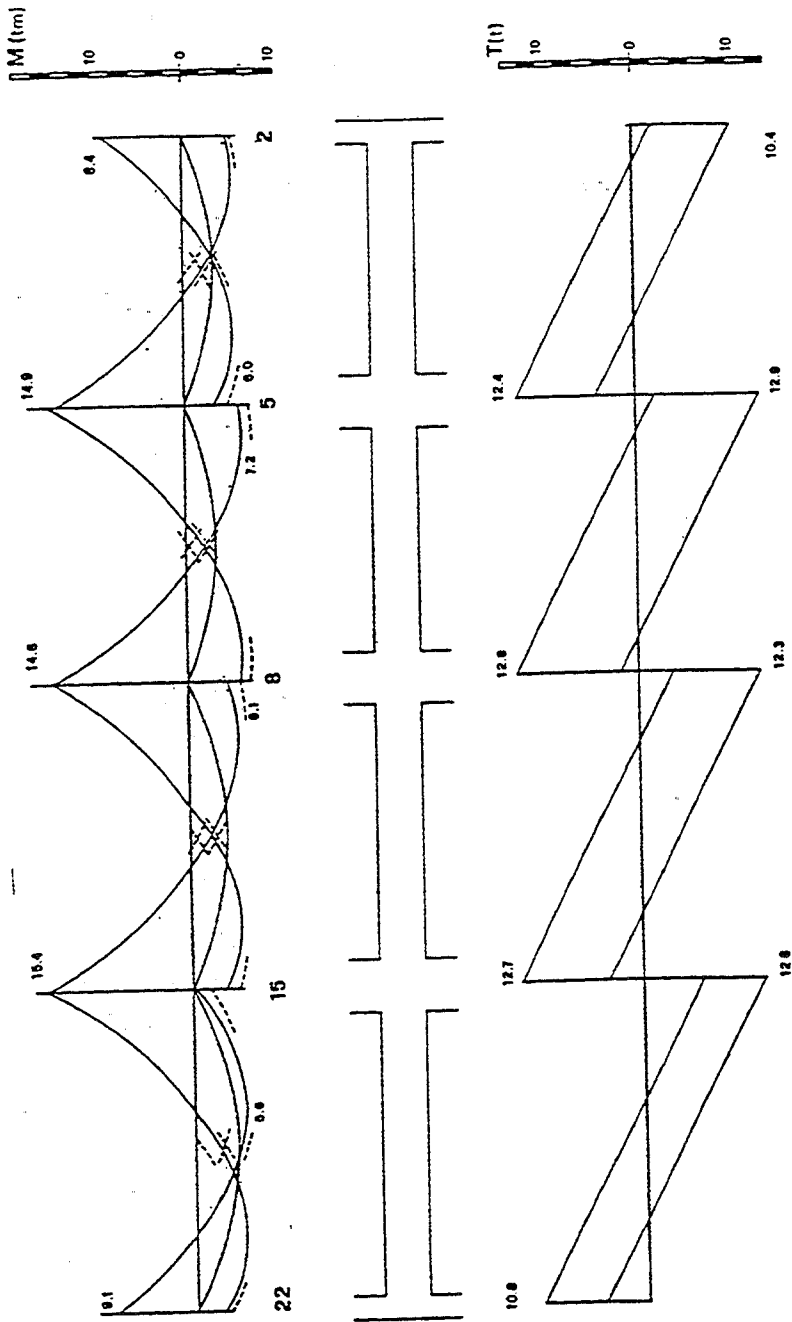


FIG. 20 - Diagramma involucro di momento flettente e taglio

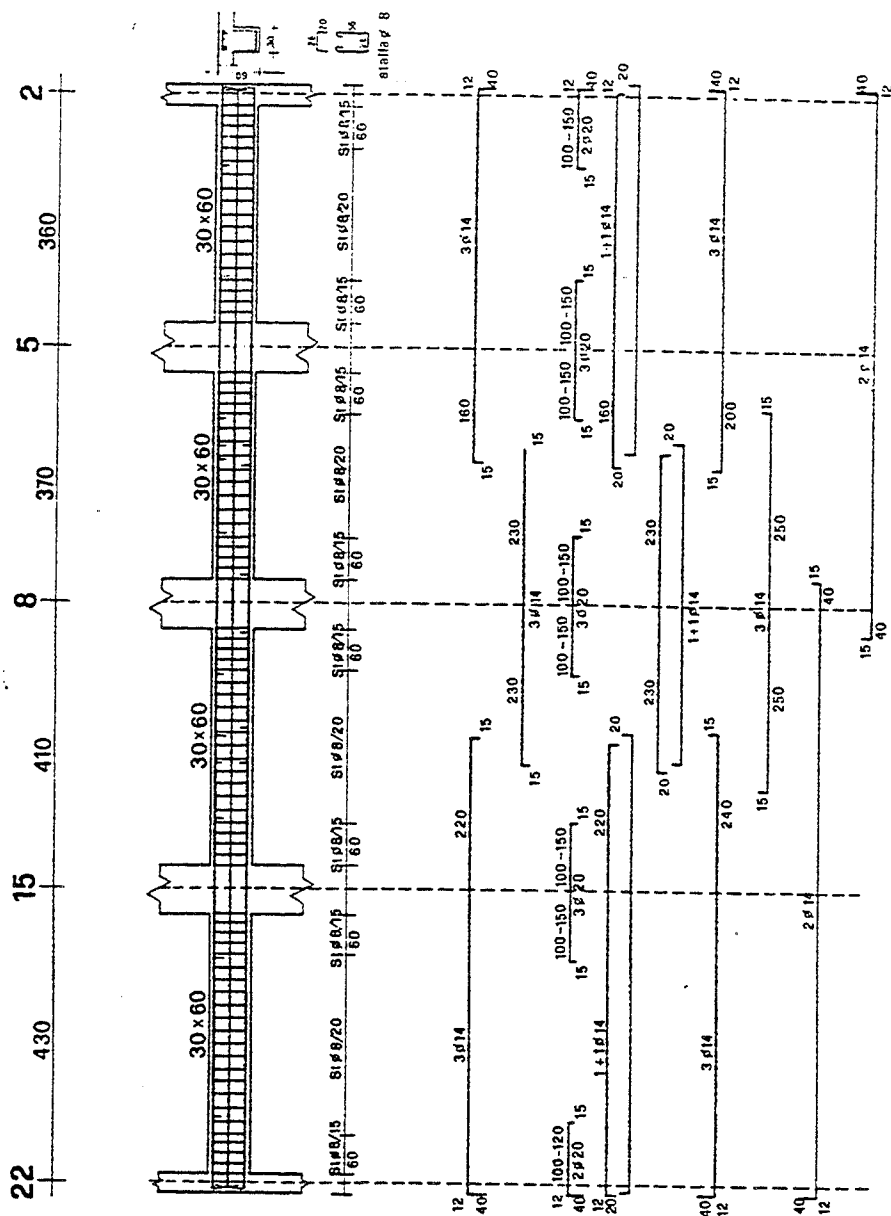


FIG.21 - Armatura della trave



Se si indica con  $p$  l'entità del sovraccarico e con  $l$  la luce, tale schema limite comporta, rispetto a quello con carichi massimi, un aumento del momento positivo in mezzzeria pari a  $pl^2/24$  ed una sua diminuzione pari a  $pl^2/12$ . Lo schema reale differisce sensibilmente da quello innanzi descritto, ma le formule riportate possono essere utilizzate per una valutazione approssimata. Per la campata 8-5 si ha ad esempio  $1.02 \times 3.70^2/24 = 0.58$  tm di incremento e 1.16 tm di decremento rispetto ai valori determinati in mezzzeria. Si può osservare che nel caso in esame le variazioni ottenute sono irrilevanti, tranne forse che per la prima campata. Esse però possono diventare importanti nel caso di travi che risentono in misura limitata dell'azione sismica.

### 11.2. Verifica a flessione e taglio.

Per verificare l'ammissibilità delle tensioni che insorgono nel calcestruzzo a causa del momento flettente si è proceduto in maniera indiretta, determinando il momento ammissibile per la sezione, in funzione di diverse percentuali di armatura in compressione, e confrontando con questi valori i massimi momenti forniti dal calcolo.

Per la sezione 30x60, con copriferro di 3 cm, in base alle caratteristiche del materiale definite nel capitolo 2 ed indicando con  $A_f$  l'armatura tesa ed  $A'_f$  quella compressa, il momento resistente del calcestruzzo  $M_{rc}$  vale:

per $A'_f = 0$	$r = 0.270$	$M_{rc} = 13.34$ tm
per $A'_f = 0.25 A_f$	$r' = 0.252$	$M_{rc} = 15.38$ tm
per $A'_f = 0.50 A_f$	$r' = 0.232$	$M_{rc} = 18.09$ tm
per $A'_f = 0.75 A_f$	$r' = 0.211$	$M_{rc} = 21.88$ tm
per $A'_f = A_f$	$r' = 0.188$	$M_{rc} = 27.53$ tm

Il massimo momento flettente riscontrato nella trave è pari a 15.41 tm ed è quindi ammissibile purché l'armatura in compressione sia almeno il 25% di quella tesa.

In maniera analoga, per verificare che le tensioni tangenziali siano accettabili si è calcolato il taglio ammissibile per la sezione, corrispondente alla tensione limite  $\tau_{b1}$ , che per il materiale utilizzato è pari a  $16.86 \text{ kgcm}^{-2}$ . Il valore così determinato, 25.94 t, è nettamente maggiore del massimo taglio riscontrato nella trave (12.90 t).

## 11.3. Armatura a flessione.

L'armatura (fig. 21) è stata realizzata con barre dritte, seguendo i criteri proposti nella prima parte del testo. L'armatura inferiore è costituita da 5  $\phi 14$ , interrotti in parte in corrispondenza ai pilastri e in parte nella mezzeria. L'armatura superiore è costituita da 3  $\phi 14$  filanti che fungono anche da reggistaffe. Ad essi sono aggiunti dei monconi  $\phi 20$  (2 in corrispondenza dei pilastri di estremità, 3 per quelli interni) aventi lunghezza decrescente con regolarità.

## 11.4. Armatura a taglio.

L'armatura a taglio è stata realizzata con staffe e ferri di parete. Per maggior rapidità, anziché calcolare l'area di ferro necessaria in ciascuna sezione in base al taglio ivi presente, si è preferito determinare una volta per tutte il taglio corrispondente alle poche alternative possibili. Si ottengono in tal modo, per la sezione 30x60 e con il tipo di acciaio definito per il caso in esame, i valori di seguito riportati.

Ferri di parete:

$$T = 2 \sigma_f A_f$$

2 $\phi 10$	T = 6.91 t	2 $\phi 14$	T = 13.55 t
4 $\phi 10$	T = 13.82 t	4 $\phi 14$	T = 27.09 t
6 $\phi 10$	T = 20.73 t		

Staffe:

$$T = \frac{2 h \sigma_f}{\Delta z} \cdot A_f \quad \Delta z = 100 \text{ cm}$$

$\phi 8/25$	T = 10.09 t	$\phi 8/20$	T = 12.61 t
$\phi 8/15$	T = 16.81 t	$\phi 8/10$	T = 25.21 t

Nella trave presa in considerazione si raggiungono agli estremi di tutte le campate valori del taglio prossimi alle 13 t. Tenendo conto anche dei minimi regolamentari si dispongono quindi staffe  $\phi 8/15$  agli estremi, per un tratto di 60 cm dal filo pilastro, e  $\phi 8/20$  nella parte centrale di ciascuna campata.

## CAPITOLO XII

### VERIFICA E ARMATURA DEI PILASTRI

#### 12.1. Schemi di carico e coppie $M-N$ limite.

Per definire l'armatura dei pilastri occorrerebbe individuare per ciascuna sezione la coppia  $M-N$  più gravosa. In realtà non sempre è facile individuare la condizione di carico per la quale si verifica tale situazione, e si è quindi costretti ad effettuare più verifiche. Dovendo operare manualmente, si sono calcolati direttamente i valori limite, minimo e massimo, dello sforzo normale e li si è considerati accoppiati al momento flettente massimo.

I valori limite di  $M$  ed  $N$  sono dovuti alla contemporanea presenza di carichi verticali e forze orizzontali.

I carichi verticali provocano nei pilastri sforzi normali di entità sicuramente non trascurabile, il cui valore massimo è stato determinato nel capitolo 6. In quella sede si è anche osservato che in assenza di sovraccarichi lo sforzo normale si riduce di un'aliquota compresa tra il 10 e il 25%. Per semplicità operativa, ma sicuri di operare a vantaggio di sicurezza, si è assunto quindi nel caso in esame che lo sforzo normale minimo sia pari al 70% di quello massimo.

Gli stessi carichi inducono invece nei pilastri un momento flettente usualmente modesto. È comunque opportuno tenerne conto, utilizzando i valori forniti dalla risoluzione dei singoli telai. Nell'esempio trattato il calcolo per carichi verticali è stato effettuato solo per due telai (il 7y nel capitolo 10

ed il 2y nel capitolo 11). Il momento flettente è stato quindi stimato "ad occhio", con valori compresi tra 0 e 2 tm (maggiori per pilastri di estremità o corrispondenti a travi con sensibili squilibri di carico, minori e al limite nulli per pilastri adiacenti a travi poco caricate o in condizioni di simmetria).

Le forze orizzontali provocano, al contrario, momenti flettenti elevati e sforzi normali in genere bassi, ma quasi mai trascurabili. Nel capitolo 9 si è effettuata la risoluzione del telaio spaziale, ottenendo i tagli agenti sui singoli telai piani componenti la struttura. In base a tali tagli sono stati calcolati tutti i telai dell'edificio, anche se, per ragioni di spazio, nel testo sono stati riportati solo i risultati relativi ai telai 7y e 2y (nei capitoli 9 e 11). Quando la rotazione degli impalcati è molto piccola, i valori possono comunque essere stimati approssimativamente incrementando o decrementando i risultati del telaio traslante, in proporzione al rapporto tra tagli forniti dalla ripartizione finale e tagli assorbiti nello schema traslante.

Per ciascun pilastro occorrerebbe considerare separatamente le due sezioni, in testa e al piede. È però possibile effettuare una verifica unica, perché lo sforzo normale è in esse praticamente uguale, a meno del peso proprio, ed anche il momento flettente presenta in genere valori non molto dissimili. L'unica eccezione è costituita dai pilastri del primo ordine, che hanno un momento al piede nettamente maggiore di quello in testa. Una verifica differenziata delle due estremità diventa in tal caso opportuna se l'armatura necessaria alla base risulta particolarmente elevata.

Nelle pagine seguenti sono riportati i valori del momento flettente (in tm) e dello sforzo normale (in t) provocati dai carichi verticali ed orizzontali, ed i conseguenti valori limite. A ciascun ordine del singolo pilastro corrispondono due righe, poiché la verifica deve essere effettuata in due direzioni ortogonali. Esse contengono innanzitutto le indicazioni relative al pilastro: numerazione in carpenteria, ordine, sezione. Seguono tre colonne relative agli effetti dei carichi verticali: sforzo normale massimo  $N_{q \max}$ , sforzo normale minimo  $N_{q \min}$  (pari, come detto, al 70% del precedente) e momento flettente  $M_q$ . Vengono quindi i valori conseguenti alle azioni orizzontali: sforzo normale  $N_f$  e momento flettente  $M_f$ , riportati senza segno perché devono essere sia sommati che sottratti. Le successive tre colonne contengono i valori limite: sforzo normale massimo, pari a  $N_{q \max} + N_f$ , sforzo normale minimo, pari a  $N_{q \min} - N_f$ , momento flettente massimo, pari a  $M_q + M_f$ . L'ultima colonna è infine riservata all'area di ferro necessaria, di cui si parla nel paragrafo seguente.

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
1	30x70	6.7	4.7	0.5	1.1	2.4	7.8	3.6	2.9	2
V	70x30			1.5	0.8	1.3	7.5	3.9	2.8	4
1	30x70	15.4	10.8	0.5	3.7	4.9	19.1	7.1	5.4	3
IV	70x30			1.5	2.8	2.1	18.2	8.0	3.6	4
1	30x70	24.1	16.9	0.5	7.6	5.9	31.7	9.3	6.4	3
III	70x30			1.5	5.8	2.7	29.9	11.1	4.2	6
1	30x70	32.8	23.0	0.5	12.3	6.2	45.1	10.7	6.7	3
II	70x30			1.5	9.5	3.2	42.3	13.5	4.7	6
1	30x70	41.7	29.2	0.5	17.3	13.8	59.0	11.9	14.3	8
I	70x30			1.5	13.3	3.1	55.0	15.9	4.6	6
2	30x70	9.9	6.9	0.0	0.3	4.7	10.2	6.6	4.7	2
V	70x30			2.0	0.9	1.5	10.8	6.0	3.5	5
2	30x70	22.5	15.8	0.0	1.0	8.1	23.5	14.8	8.1	3
IV	70x30			2.0	3.2	2.4	25.7	12.6	4.4	5
2	30x70	35.2	24.6	0.0	2.0	10.4	37.2	22.6	10.4	3
III	70x30			2.0	6.6	3.1	41.8	18.0	5.1	5
2	30x70	47.9	33.5	0.0	3.2	11.7	51.1	30.3	11.7	3
II	70x30			2.0	10.7	3.7	58.6	22.8	5.7	6
2	30x70	60.7	42.5	0.0	4.5	15.9	65.2	38.0	15.9	8
I	70x30			2.0	14.9	3.3	75.6	27.6	5.3	5
3	30x70	6.0	4.2	0.5	1.4	2.7	7.4	2.8	3.2	2
V	70x30			1.5	1.0	1.6	7.0	3.2	3.1	5
3	30x70	13.9	9.7	0.5	4.7	5.3	18.6	5.0	5.8	4
IV	70x30			1.5	3.6	2.6	17.5	6.1	4.1	6
3	30x70	21.7	15.2	0.5	9.6	6.4	31.3	5.6	6.9	5
III	70x30			1.5	7.3	3.4	29.0	7.9	4.9	7
3	30x70	29.5	20.7	0.5	15.6	6.8	45.1	5.0	7.3	5
II	70x30			1.5	11.8	4.0	41.3	8.8	5.5	9
3	30x70	37.5	26.3	0.5	21.9	14.0	59.4	4.4	14.5	10
I	70x30			1.5	16.4	3.5	53.9	9.9	5.0	7

pilastro ord. sez.	carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
4 70x30	10.4	7.3	0.5	0.2	0.4	10.6	7.1	0.9	—
V 30x70			0.0	0.1	3.4	10.5	7.2	3.4	1
4 70x30	23.3	16.3	0.5	0.4	0.6	23.7	15.9	1.1	—
IV 30x70			0.0	0.2	6.1	23.5	16.1	6.1	1
4 70x30	36.1	25.3	0.5	0.8	0.7	36.9	24.5	1.2	—
III 30x70			0.0	0.5	7.7	36.6	24.8	7.7	—
4 70x30	49.0	34.3	0.5	1.2	0.7	50.2	33.1	1.2	—
II 30x70			0.0	0.7	8.6	49.7	33.6	8.6	—
4 70x30	62.1	43.5	0.5	1.7	2.4	63.8	41.8	2.9	—
I 30x70			0.0	1.2	13.6	63.3	42.3	13.6	4
5 70x30	16.3	11.4	0.0	0.1	0.7	16.4	11.3	0.7	—
V 30x70			0.0	0.2	4.0	16.5	11.2	4.0	1
5 70x30	34.5	24.2	0.0	0.2	1.0	34.7	24.0	1.0	—
IV 30x70			0.0	0.8	7.1	35.3	23.3	7.1	—
5 70x30	52.7	36.9	0.0	0.4	1.3	53.1	36.5	1.3	—
III 30x70			0.0	1.7	9.0	54.4	35.2	9.0	—
5 70x30	70.9	49.6	0.0	0.6	1.3	71.5	49.0	1.3	—
II 30x70			0.0	2.8	10.1	73.7	46.8	10.1	—
5 70x30	89.3	62.5	0.0	0.9	2.7	90.2	61.6	2.7	—
I 30x70			0.0	4.1	14.7	93.4	58.4	14.7	9
6 70x30	8.9	6.2	0.5	0.2	0.4	9.1	6.0	0.9	—
V 30x70			0.0	0.3	4.4	9.2	5.9	4.4	3
6 70x30	19.9	13.9	0.5	0.6	0.7	20.5	13.3	1.2	—
IV 30x70			0.0	0.9	7.8	20.8	13.0	7.8	3
6 70x30	30.8	21.6	0.5	1.2	0.8	32.0	20.4	1.3	—
III 30x70			0.0	1.9	9.9	32.7	19.7	9.9	4
6 70x30	41.8	29.3	0.5	1.9	0.8	43.7	27.4	1.3	—
II 30x70			0.0	3.1	11.1	44.9	26.2	11.1	3
6 70x30	53.0	37.1	0.5	2.6	2.5	55.6	34.5	3.0	—
I 30x70			0.0	4.5	15.6	57.5	32.6	15.6	8

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
7	70x30	9.9	6.9	0.5	0.2	0.4	10.1	6.7	0.9	—
V	30x70			0.0	0.1	3.5	10.0	6.8	3.5	1
7	70x30	22.2	15.5	0.5	0.4	0.6	22.6	15.1	1.1	—
IV	30x70			0.0	0.4	6.3	22.6	15.1	6.3	1
7	70x30	34.5	24.2	0.5	0.8	0.7	35.3	23.3	1.2	—
III	30x70			0.0	0.7	8.1	35.2	23.5	8.1	1
7	70x30	46.8	32.8	0.5	1.3	0.7	48.1	31.5	1.2	—
II	30x70			0.0	1.2	9.1	48.0	31.6	9.1	1
7	70x30	59.4	41.6	0.5	1.8	2.5	61.2	39.8	3.0	—
I	30x70			0.0	1.7	13.8	61.1	39.9	13.8	8
8	70x30	15.8	11.1	0.0	0.0	0.7	15.8	11.1	0.7	—
V	30x70			0.0	0.2	4.1	16.0	10.9	4.1	1
8	70x30	33.5	23.5	0.0	0.0	0.9	33.5	23.5	0.9	—
IV	30x70			0.0	0.7	7.2	34.2	22.7	7.2	—
8	70x30	51.1	35.8	0.0	0.1	1.1	51.2	35.7	1.1	—
III	30x70			0.0	1.4	9.2	52.5	34.4	9.2	—
8	70x30	68.8	48.2	0.0	0.1	1.2	68.9	48.1	1.2	—
II	30x70			0.0	2.3	10.4	71.1	45.9	10.4	—
8	70x30	86.7	60.7	0.0	0.1	2.7	86.8	60.6	2.7	—
I	30x70			0.0	3.2	14.9	89.9	57.5	14.9	9
9	70x30	19.9	13.9	0.0	1.2	1.9	21.1	12.7	1.9	1
V	30x70			0.5	0.2	4.5	20.1	13.7	5.0	1
9	70x30	34.8	24.4	0.0	4.5	3.0	39.3	19.9	3.0	1
IV	30x70			0.5	0.8	7.9	35.6	23.6	8.4	1
9	70x30	49.6	34.7	0.0	9.3	4.0	58.9	25.4	4.0	2
III	30x70			0.5	1.5	10.1	51.1	33.2	10.6	2
9	70x30	64.5	45.2	0.0	15.2	4.7	79.7	29.9	4.7	3
II	30x70			0.5	2.5	11.4	67.0	42.7	11.9	2
9	70x30	79.5	55.7	0.0	20.9	3.8	100.4	34.8	3.8	1
I	30x70			0.5	3.5	15.7	83.0	52.2	16.2	11

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
10	30x70	16.0	11.2	1.0	0.2	4.9	16.2	11.0	5.9	2
V	70x30			1.0	0.8	1.6	16.8	10.4	2.6	3
10	30x70	29.8	20.9	1.0	0.7	8.6	30.5	20.2	9.6	3
IV	70x30			1.0	2.9	2.6	32.7	18.0	3.6	3
10	30x70	43.6	30.5	1.0	1.4	11.1	45.0	29.1	12.1	4
III	70x30			1.0	5.9	3.4	49.5	24.6	4.4	3
10	30x70	57.5	40.3	1.0	2.2	12.5	59.7	38.1	13.5	5
II	70x30			1.0	9.5	4.0	67.0	30.8	5.0	4
10	30x70	69.6	48.7	1.0	3.4	16.6	73.0	45.3	17.6	11
I	70x30			1.0	13.2	3.6	82.8	35.5	4.6	3
11	30x70	10.8	7.6	0.0	0.6	4.8	11.4	7.0	4.8	2
V	70x30			0.5	0.2	0.5	11.0	7.4	1.0	1
11	30x70	26.1	18.3	0.0	2.0	8.3	28.1	16.3	8.3	3
IV	70x30			0.5	0.6	0.7	26.7	17.7	1.2	—
11	30x70	41.4	29.0	0.0	4.1	10.7	45.5	24.9	10.7	3
III	70x30			0.5	1.1	0.9	42.5	27.9	1.4	—
11	30x70	56.7	39.7	0.0	6.7	12.1	63.4	33.0	12.1	3
II	70x30			0.5	1.7	0.8	58.4	38.0	1.3	—
11	30x70	68.1	47.7	0.0	9.3	16.5	77.4	38.4	16.5	10
I	70x30			0.5	2.4	2.6	70.5	45.3	3.1	—
12	30x70	12.1	8.5	0.0	0.0	4.3	12.1	8.5	4.3	2
V	70x30			0.5	0.2	0.5	12.3	8.3	1.0	1
12	30x70	29.4	20.6	0.0	0.1	7.7	29.5	20.5	7.7	2
IV	70x30			0.5	0.6	0.8	30.0	20.0	1.3	—
12	30x70	46.6	32.6	0.0	0.2	9.7	46.8	32.4	9.7	1
III	70x30			0.5	1.2	0.9	47.8	31.4	1.4	—
12	30x70	63.9	44.7	0.0	0.4	10.9	64.3	44.3	10.9	1
II	70x30			0.5	1.9	0.9	65.8	42.8	1.4	—
12	30x70	76.7	53.7	0.0	0.3	16.0	77.0	53.4	16.0	9
I	70x30			0.5	2.6	2.8	79.3	51.1	3.3	—



pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
13	70x30	7.3	5.1	2.0	1.1	1.7	8.4	4.0	3.7	6
V	30x70			0.5	1.6	3.3	8.9	3.5	3.8	2
13	70x30	17.7	12.4	2.0	3.7	2.7	21.4	8.7	4.7	7
IV	30x70			0.5	5.5	6.6	23.2	6.9	7.1	4
13	70x30	28.1	19.7	2.0	7.5	3.5	35.6	12.2	5.5	7
III	30x70			0.5	11.1	8.0	39.2	8.6	8.5	5
13	70x30	38.5	27.0	2.0	12.3	4.2	50.8	14.6	6.2	8
II	30x70			0.5	17.9	8.4	56.4	9.0	8.9	5
13	70x30	46.9	32.8	2.0	17.0	3.7	63.9	15.8	5.7	5
I	30x70			0.5	24.9	16.8	71.8	7.9	17.3	12
14	70x30	12.2	8.5	0.5	0.2	0.4	12.4	8.3	0.9	—
V	30x70			0.5	0.4	3.3	12.6	8.1	3.8	2
14	70x30	28.5	19.9	0.5	0.4	0.6	28.9	19.5	1.1	—
IV	30x70			0.5	1.3	5.9	29.8	18.7	6.4	1
14	70x30	44.7	31.3	0.5	0.8	0.7	45.5	30.5	1.2	—
III	30x70			0.5	2.6	7.5	47.3	28.7	8.0	—
14	70x30	61.0	42.7	0.5	1.3	0.7	62.3	41.4	1.2	—
II	30x70			0.5	4.3	8.4	65.3	38.4	8.9	—
14	70x30	74.9	52.4	0.5	1.8	2.5	76.7	50.6	3.0	—
I	30x70			0.5	6.2	13.5	81.1	46.2	14.0	6
15	70x30	17.7	12.4	0.0	0.1	0.7	17.8	12.3	0.7	—
V	30x70			0.0	0.3	3.6	18.0	12.1	3.6	—
15	70x30	37.6	26.3	0.0	0.2	1.0	37.8	26.1	1.0	—
IV	30x70			0.0	0.9	6.6	38.5	25.4	6.6	—
15	70x30	57.5	40.3	0.0	0.3	1.3	57.8	40.0	1.3	—
III	30x70			0.0	1.9	8.3	59.4	38.3	8.3	—
15	70x30	77.3	54.1	0.0	0.5	1.4	77.8	53.6	1.4	—
II	30x70			0.0	3.1	9.3	80.4	51.0	9.3	—
15	70x30	98.1	68.7	0.0	0.7	2.8	98.8	68.0	2.8	—
I	30x70			0.0	4.5	14.4	102.6	64.2	14.4	11

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
16	70x30	26.6	18.6	1.0	0.0	0.8	26.6	18.6	1.8	—
V	30x70			0.0	0.3	4.0	26.9	18.3	4.0	—
16	70x30	46.1	32.3	1.0	0.0	1.0	46.1	32.3	2.0	—
IV	30x70			0.0	1.0	7.2	47.1	31.3	7.2	—
16	70x30	65.7	46.0	1.0	0.1	1.3	65.8	45.9	2.3	—
III	30x70			0.0	2.1	9.1	67.8	43.9	9.1	—
16	70x30	85.2	59.6	1.0	0.1	1.4	85.3	59.5	2.4	—
II	30x70			0.0	3.4	10.2	88.6	56.2	10.2	—
16	70x30	105.0	73.5	1.0	0.1	2.8	105.1	73.4	3.8	1
I	30x70			0.0	4.9	15.3	109.9	68.6	15.3	14
17	70x30	22.0	15.4	0.5	1.0	1.9	23.0	14.4	2.4	1
V	30x70			0.5	0.5	4.5	22.5	14.9	5.0	1
17	70x30	40.8	28.6	0.5	3.7	3.0	44.5	24.9	3.5	1
IV	30x70			0.5	1.5	7.9	42.3	27.1	8.4	1
17	70x30	59.6	41.7	0.5	7.7	4.0	67.3	34.0	4.5	2
III	30x70			0.5	3.2	10.1	62.8	38.5	10.6	2
17	70x30	78.3	54.8	0.5	12.5	4.7	90.8	42.3	5.2	5
II	30x70			0.5	5.2	11.2	83.5	49.6	11.7	2
17	70x30	98.1	68.7	0.5	17.4	3.9	115.5	51.3	4.4	7
I	30x70			0.5	7.5	16.1	105.6	61.2	16.6	12
18	30x70	13.8	9.7	0.0	0.2	4.4	14.0	9.5	4.4	1
V	70x30			0.0	0.0	0.8	13.8	9.7	0.8	—
18	30x70	29.3	20.5	0.0	0.6	8.0	29.9	19.9	8.0	2
IV	70x30			0.0	0.1	1.1	29.4	20.4	1.1	—
18	30x70	44.7	31.3	0.0	1.3	10.2	46.0	30.0	10.2	2
III	70x30			0.0	0.1	1.4	44.8	31.2	1.4	—
18	30x70	60.2	42.1	0.0	2.1	11.4	62.3	40.0	11.4	2
II	70x30			0.0	0.2	1.5	60.4	41.9	1.5	—
18	30x70	77.5	54.3	0.0	2.7	16.6	80.2	51.6	16.6	11
I	70x30			0.0	0.2	2.9	77.7	54.1	2.9	—

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
19	30x70	15.7	11.0	0.0	0.0	4.3	15.7	11.0	4.3	1
V	70x30			0.0	0.0	0.9	15.7	11.0	0.9	—
19	30x70	33.3	23.3	0.0	0.1	7.8	33.4	23.2	7.8	1
IV	70x30			0.0	0.1	1.2	33.4	23.2	1.2	—
19	30x70	50.8	35.6	0.0	0.1	9.9	50.9	35.5	9.9	1
III	70x30			0.0	0.1	1.5	50.9	35.5	1.5	—
19	30x70	68.4	47.9	0.0	0.2	11.1	68.6	47.7	11.1	1
II	70x30			0.0	0.2	1.6	68.6	47.7	1.6	—
19	30x70	88.1	61.7	0.0	0.0	16.5	88.1	61.7	16.5	11
I	70x30			0.0	0.2	3.0	88.3	61.5	3.0	—
20	70x30	11.5	8.1	2.0	1.1	1.7	12.6	7.0	3.7	4
V	30x70			1.5	0.0	6.2	11.5	8.1	7.7	4
20	70x30	27.8	19.5	2.0	3.7	2.7	31.5	15.8	4.7	5
IV	30x70			1.5	0.0	10.6	27.8	19.5	12.1	5
20	70x30	44.1	30.9	2.0	7.6	3.6	51.7	23.3	5.6	5
III	30x70			1.5	0.0	13.6	44.1	30.9	15.1	6
20	70x30	60.4	42.3	2.0	12.4	4.2	72.8	29.9	6.2	8
II	30x70			1.5	0.0	15.4	60.4	42.3	16.9	10
20	70x30	75.0	52.5	2.0	17.3	3.7	92.3	35.2	5.7	8
I	30x70			1.5	0.0	19.2	75.0	52.5	20.7	17
21	30x70	10.7	7.5	2.0	1.1	2.5	11.8	6.4	4.5	2
V	70x30			2.0	0.6	1.2	11.3	6.9	3.2	5
21	30x70	27.1	19.0	2.0	3.9	5.1	31.0	15.1	7.1	2
IV	70x30			2.0	2.1	1.9	29.2	16.9	3.9	3
21	30x70	43.5	30.5	2.0	7.9	6.2	51.4	22.6	8.2	1
III	70x30			2.0	4.3	2.5	47.8	26.1	4.5	3
21	30x70	59.8	41.9	2.0	12.9	6.5	72.7	29.0	8.5	1
II	70x30			2.0	7.1	3.0	66.9	34.8	5.0	4
21	30x70	69.6	48.7	2.0	18.3	15.1	87.9	30.4	17.1	13
I	70x30			2.0	10.0	3.0	79.6	38.7	5.0	3

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
22	30x70	14.0	9.8	0.0	0.2	4.7	14.2	9.6	4.7	2
V	70x30			2.0	0.7	1.4	14.7	9.1	3.4	4
22	30x70	34.0	23.8	0.0	0.6	8.3	34.6	23.2	8.3	2
IV	70x30			2.0	2.5	2.2	36.5	21.3	4.2	4
22	30x70	54.0	37.8	0.0	1.2	10.6	55.2	36.6	10.6	2
III	70x30			2.0	5.0	2.9	59.0	32.8	4.9	4
22	30x70	74.0	51.8	0.0	2.0	12.0	76.0	49.8	12.0	2
II	70x30			2.0	8.2	3.4	82.2	43.6	5.4	4
22	30x70	89.4	62.6	0.0	2.7	17.2	92.1	59.9	17.2	14
I	70x30			2.0	11.4	3.2	100.8	51.2	5.2	8
23	30x70	18.4	12.9	1.0	0.3	4.4	18.7	12.6	5.4	1
V	70x30			1.5	0.8	1.5	19.2	12.1	3.0	3
23	30x70	34.0	23.8	1.0	0.9	8.0	34.9	22.9	9.0	2
IV	70x30			1.5	2.7	2.4	36.7	21.1	3.9	3
23	30x70	49.6	34.7	1.0	2.0	10.2	51.6	32.7	11.2	2
III	70x30			1.5	5.5	3.2	55.1	29.2	4.7	3
23	30x70	65.1	45.6	1.0	3.2	11.4	68.3	42.4	12.4	3
II	70x30			1.5	9.0	3.7	74.1	36.6	5.2	5
23	30x70	78.4	54.9	1.0	4.8	16.9	83.2	50.1	17.9	13
I	70x30			1.5	12.4	3.4	90.8	42.5	4.9	3
24	70x30	15.2	10.6	1.0	0.0	2.3	15.2	10.6	3.3	4
V	30x70			0.5	1.3	2.7	16.5	9.3	3.2	—
24	70x30	29.4	20.6	1.0	0.1	3.7	29.5	20.5	4.7	5
IV	30x70			0.5	4.4	5.4	33.8	16.2	5.9	1
24	70x30	43.6	30.5	1.0	0.1	4.9	43.7	30.4	5.9	9
III	30x70			0.5	9.0	6.6	52.6	21.5	7.1	1
24	70x30	57.9	40.5	1.0	0.2	5.8	58.1	40.3	6.8	10
II	30x70			0.5	14.7	6.9	72.6	25.8	7.4	1
24	70x30	70.3	49.2	1.0	0.3	4.3	70.6	48.9	5.3	3
I	30x70			0.5	20.7	14.6	91.0	28.5	15.1	9

pilastro		carichi verticali			forze orizzontali		valori limite			Af
ord.	sez.	Nmax	Nmin	M	N	M	Nmax	Nmin	Mmax	
25	30x70	10.9	7.6	0.0	0.1	4.3	11.0	7.5	4.3	2
V	70x30			0.5	0.2	0.4	11.1	7.4	0.9	—
25	30x70	26.6	18.6	0.0	0.2	7.8	26.8	18.4	7.8	2
IV	70x30			0.5	0.5	0.7	27.1	18.1	1.2	—
25	30x70	42.2	29.5	0.0	0.4	9.9	42.6	29.1	9.9	2
III	70x30			0.5	1.0	0.8	43.2	28.5	1.3	—
25	30x70	57.8	40.5	0.0	0.6	11.1	58.4	39.9	11.1	2
II	70x30			0.5	1.6	0.8	59.4	38.9	1.3	—
25	30x70	69.5	48.7	0.0	1.2	16.7	70.7	47.4	16.7	11
I	70x30			0.5	2.2	2.6	71.7	46.4	3.1	—
26	30x70	12.4	8.7	0.0	0.0	4.4	12.4	8.7	4.4	2
V	70x30			0.5	0.2	0.5	12.6	8.5	1.0	1
26	30x70	30.2	21.1	0.0	0.0	7.9	30.2	21.1	7.9	1
IV	70x30			0.5	0.6	0.8	30.8	20.5	1.3	—
26	30x70	48.0	33.6	0.0	0.0	10.0	48.0	33.6	10.0	1
III	70x30			0.5	1.1	0.9	49.1	32.5	1.4	—
26	30x70	65.9	46.1	0.0	0.0	11.3	65.9	46.1	11.3	1
II	70x30			0.5	1.7	0.8	67.6	44.4	1.3	—
26	30x70	79.1	55.4	0.0	0.2	16.8	79.3	55.2	16.8	11
I	70x30			0.5	2.4	2.7	81.5	53.0	3.2	1
27	70x30	9.5	6.6	2.0	1.1	1.7	10.6	5.5	3.7	5
V	30x70			2.0	1.6	3.3	11.1	5.0	5.3	3
27	70x30	24.5	17.2	2.0	3.8	2.7	28.3	13.4	4.7	5
IV	30x70			2.0	5.5	6.6	30.0	11.7	8.6	4
27	70x30	39.4	27.6	2.0	7.7	3.6	47.1	19.9	5.6	6
III	30x70			2.0	11.1	8.0	50.5	16.5	10.0	4
27	70x30	54.4	38.1	2.0	12.5	4.3	66.9	25.6	6.3	8
II	30x70			2.0	17.9	8.4	72.3	20.2	10.4	4
27	70x30	63.1	44.2	2.0	17.5	3.8	80.6	26.7	5.8	6
I	30x70			2.0	24.9	16.8	88.0	19.3	18.8	16

## 12.2. Verifica e armatura a pressoflessione.

L'area di ferro necessaria su ciascun lato dei pilastri è stata valutata utilizzando i domini  $M-N$  di figura 16 e 17. Si può notare che delle due coppie limite,  $M_{\max} - N_{\max}$  e  $M_{\max} - N_{\min}$ , la prima risulta più gravosa per gli ordini inferiori dei pilastri centrali, nei quali la tensione media provocata dallo sforzo normale è abbastanza elevata. Ai piani superiori, e nel caso dei pilastri laterali anche a quelli inferiori, lo sforzo normale è invece basso e costituisce un aiuto per la sezione; per essi risulta quindi più pericoloso lo sforzo normale minimo.

I risultati ottenuti mostrano che l'area di ferro necessaria è quasi ovunque molto bassa. Si ricorda che, pur non essendo imposto dalla normativa vigente, è bene che l'area totale di ferro sia pari ad almeno l'1% dell'area della sezione di calcestruzzo. Per soddisfare tale requisito si prevede, nei pilastri dell'edificio qui esaminato, di sezione 30x70, un'armatura minima costituita da 4  $\phi 20$  agli spigoli più 6  $\phi 14$  lungo i lati. È in tal caso presente un'area di ferro pari a 7.8 cm<sup>2</sup> sul lato corto e 9.4 cm<sup>2</sup> su quello lungo. L'area richiesta supera tali valori solo in poche sezioni, poste quasi tutte al primo e solo qualcuna anche al secondo ordine. È evidente che in tale situazione sarebbe stato possibile condurre l'analisi delle armature necessarie agli ordini superiori in maniera molto più sintetica, controllando solo un campione limitato di pilastri. Un'ulteriore riduzione del lavoro sarebbe stata consentita dalla regolarità della struttura, che avrebbe permesso di riunire anche ai piani inferiori i pilastri in gruppi omogenei ed effettuare quindi un'unica verifica per gruppo, con le caratteristiche di sollecitazione massime riscontrate tra i pilastri che lo costituiscono.

Nel passare dall'area di ferro necessaria alle armature effettivamente disposte (fig.22) ci si è fatti guidare da due criteri orientativi: uniformità tra i pilastri dello stesso ordine e gradualità di variazione in verticale. Si sono individuate una sezione (tipo A) per i pilastri 30x40 del torrino e quattro sezioni tipo, con armatura sul lato corto via via crescente (2  $\phi 20$ +1  $\phi 14$  per il tipo B, 3  $\phi 20$  per il C, 4  $\phi 20$  per il D e 6  $\phi 20$  per il tipo E), per i pilastri 30x70. Per i pilastri meno sollecitati si è utilizzata l'armatura D al primo ordine, la C al secondo e la B ai restanti livelli (fig.23), anche quando ciò non appariva necessario dai risultati del calcolo. Per i pilastri che richiedevano alla base la massima armatura, E, si è prevista una riduzione graduale lungo l'altezza adottando il tipo D al secondo ordine ed eventualmente il C al terzo.

ordine	VI			V	IV	III	II	I	dalla fondazione
pilastro	sezione	armat.	sezione	armatura					
1			70 x 30	B	B	B	C	D	D
2			70 x 30	B	B	B	C	D	D
3			70 x 30	B	B	B	C	D	D
4			30 x 70	B	B	B	C	D	D
5			30 x 70	B	B	B	C	D	D
6			30 x 70	B	B	B	C	D	D
7			30 x 70	B	B	B	C	D	D
8			30 x 70	B	B	B	C	D	D
9	30 x 40	A	30 x 70	B	B	B	C	D	D
10	40 x 30	A	70 x 30	B	B	B	C	D	D
11			70 x 30	B	B	B	C	D	D
12			70 x 30	B	B	B	C	D	D
13			30 x 70	B	B	B	C	D	D
14			30 x 70	B	B	B	C	D	D
15			30 x 70	B	B	B	C	D	D
16	30 x 40	A	30 x 70	B	B	B	C	E	E
17	30 x 40	A	30 x 70	B	B	B	C	D	D
18			70 x 30	B	B	B	C	D	D
19			70 x 30	B	B	B	C	D	D
20			30 x 70	B	B	C	D	E	E
21			70 x 30	B	B	B	D	E	E
22			70 x 30	B	B	B	D	E	E
23	40 x 30	A	70 x 30	B	B	B	D	E	E
24	30 x 40	A	30 x 70	B	B	B	C	D	D
25			70 x 30	B	B	B	C	D	D
26			70 x 30	B	B	B	C	D	D
27			30 x 70	B	B	C	D	E	E

## SEZIONI



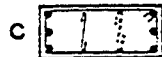
30 x 40  
4 #20 + 2 #14



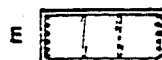
30 x 70  
4 #20 + 6 #14



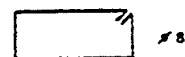
30 x 70  
8 #20 + 4 #14



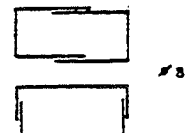
30 x 70  
6 #20 + 4 #14



30 x 70  
12 #20 + 4 #14

STAFFE  
NEL PILASTRO

## STAFFE NEL NODO



## TIRANTI #8 ALTERNATI

FIG.22 - Tabella dei pilastri

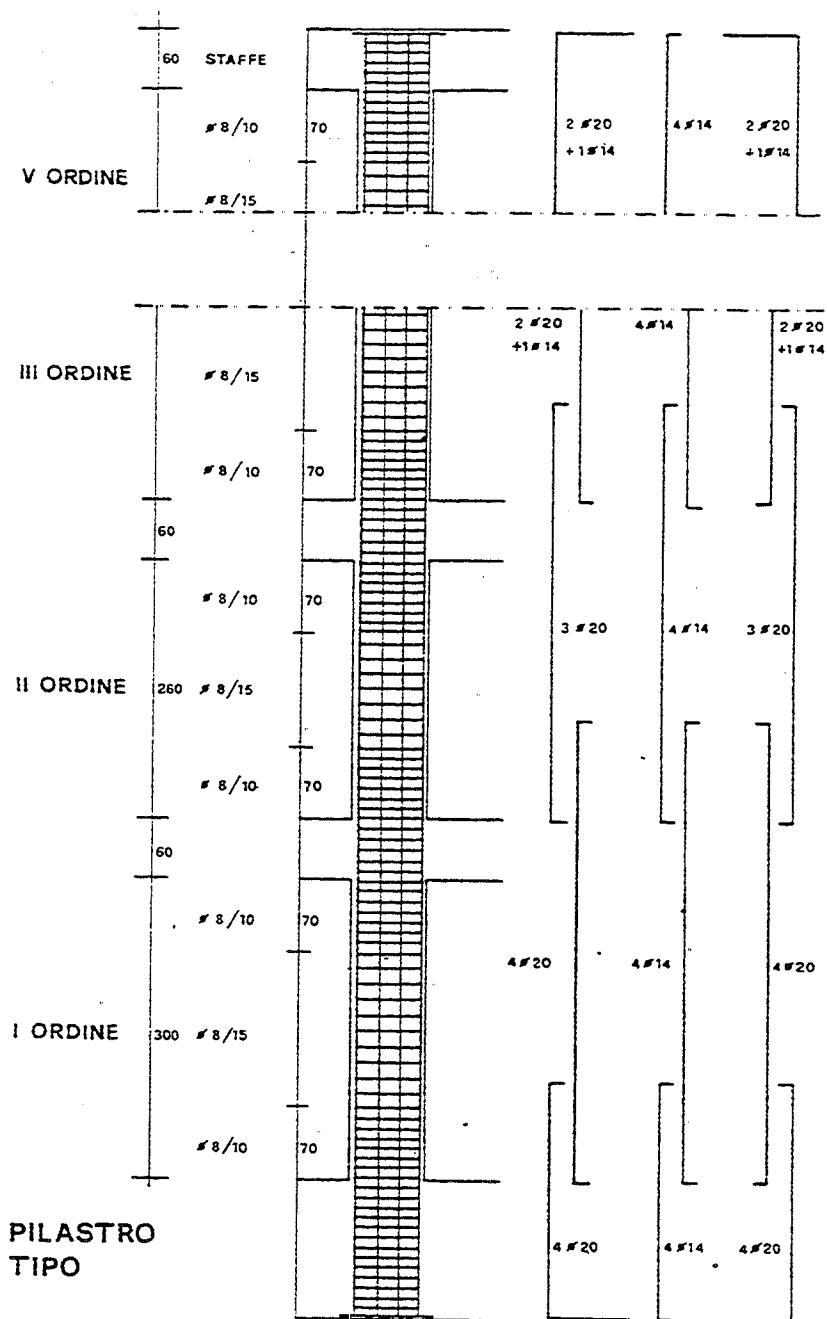


FIG.23 - Armatura del pilastro tipo



### 12.3. Verifica e armatura a taglio.

Il pilastro più sollecitato a taglio è il 20, per il quale tale caratteristica di sollecitazione raggiunge al secondo ordine il valore di 9.55 t. La tensione tangenziale  $\tau$  ad esso corrispondente andrebbe determinata tenendo conto dello sforzo normale, che è compreso tra 42.3 e 60.4 t. Adottando per semplicità le formule relative alla flessione semplice, con le considerazioni effettuate nella prima parte del testo, si ha  $\tau = 6.2 \text{ kgcm}^{-2}$  se si considera la sezione parzializzata,  $\tau = 8.4 \text{ kgcm}^{-2}$  se la si considera tutta reagente. Entrambi tali valori sono comunque nettamente al di sotto della tensione limite  $\tau_{b1}$ .

Utilizzando ancora, a vantaggio di sicurezza, le formule per la flessione semplice risulta necessaria una quantità di staffe di area pari a  $3.8 \text{ cm}^2$  a metro e ferri di parete per  $2.2 \text{ cm}^2$ .

La staffatura prevista,  $\phi 8/15$  infittita a  $\phi 8/10$  agli estremi del pilastro, è quindi sicuramente idonea al fabbisogno.

