

## ANALISI STATICA E DINAMICA DELLE STRUTTURE RETICOLARI SPAZIALI

Prof. Gianfranco Valente,  
Istituto di Scienza delle Costruzioni  
della Facoltà di Ingegneria de L'Aquila

*Si esamina il problema dal punto di vista della rappresentazione geometrica e si prospetta la soluzione analitica sia con metodi di calcolo del mezzo discreto che del mezzo continuo. Si riporta, come esempio numerico, il calcolo di una struttura soggetta a più condizioni di carico statiche, a cinematismi ed alla azione dinamica del sisma.*

### 1. Introduzione

Gli studi di alcuni Autori su questo tipo di struttura hanno contribuito in maniera decisiva a formulare metodi di calcolo che passano dal mezzo discreto reale a quello continuo in un modo che appare assolutamente spontaneo. È aperta così la strada all'impiego dei vari risultati per le strutture bidimensionali continue, trascurando o no la deformazione dovuta alle forze taglianti, nella analisi di strutture reticolari a queste assimilabili.

Le complessità geometriche di rappresentazione grafica di queste strutture sono sempre mitigate dalle simmetrie e dalle ripetitività cristalline.

L'aspetto più peculiare e caratteristico di tali strutture è senz'altro la chiarezza del loro funzionamento statico. Le moderne strutture reticolari sfruttano sistemi costruttivi caratterizzati da grande rigidità e leggerezza: ciò che si ottiene appunto con la molteplicità delle connessioni spaziali (aste) tra i nodi. Valgono ad esempio le piastre a doppio strato, emblematiche delle più grandi realizzazioni.

In questa nota verrà presentato il metodo di calcolo fondato sull'uso dell'elaboratore elettronico e denominato «metodo diretto»; esso affronta il problema nella sua generalità assumendone come incogniti tutti gli spostamenti nei nodi della struttura.

La demarcazione operativa fra il «metodo indiretto» basato sul passaggio al continuo e quello qui proposto è connessa alla capacità di memoria dell'elaboratore elettronico di cui si può disporre; il suo uso ha consentito la risoluzione di un problema con più di mille incognite cinematiche.

### 2. Esempio numerico

Si considera una struttura reticolare in cui l'elemento generatore è una piramide a base quadrata composta ad aste di lunghezza costante pari a 2,40 m.

La struttura ha un ingombro in pianta pari a  $48,00 \times 19,20$  m con una sporgenza sul lato lungo di  $28,80 \times 2,40$  m.

I vincoli sono costituiti da:

- 11 appoggi su un gruppo di telai in c.a. in corrispondenza del lato lungo;
- 4 pendoli sui due lati corti;
- 6 ombrelli in prossimità dell'altro lato lungo.

Si riportano le proiezioni di Monge di tale struttura nelle seguenti figure 1 e 2.

Le caratteristiche del gruppo di telai tradizionali sono raccolte nella Tabella I con le notazioni seguenti:

- $\Sigma FX$  forze sismiche totali,
- $l$  larghezza di influenza nella direzione  $Y$ ,
- $K_x$  e  $\delta_x$  rigidità e spostamento relativo a  $\Sigma FX$  computato alle quote di collegamento con la struttura spaziale,
- $K_{100}$  e  $\delta_{100}$  rigidità e spostamento per una forza unitaria in direzione  $X$  applicata alla quota di collegamento con la struttura reticolare spaziale,
- $M = K_{100} \delta_x/g$  massa dell'oscillatore semplice equivalente al telaio in oggetto ed applicata alla quota di collegamento con la struttura reticolare.



TABELLA I - Caratteristiche dei telai.

Y	W a quota Z				ΣFX	l	K <sub>s</sub>	δ <sub>s</sub>	K <sub>100</sub>	δ <sub>100</sub>	K <sub>100</sub> δ <sub>100</sub>	M	telaio tipo
	— 2,40	0,00	0,90	4,27									
0,00					9,143	3,60	13 768	0,06641	11 945	0,83715	7,930	8,086	1
7,20	98,549	14,175	28,877	71,385	21,333	8,40	13 768	0,15495	11 945	0,83715	18,509	18,867	1
16,80					19,809	7,80	13 768	0,14388	11 945	0,83715	17,186	17,519	1
22,80					16,762	6,60	13 768	0,12175	11 945	0,83715	14,543	14,824	1
30,00	57,313	12,15	34,187	48,255	14,829	7,20	6 078	0,24399	5 697	1,75526	13,901	14,170	2
37,20					13,593	6,60	6 078	0,22365	5 697	1,75526	12,741	12,989	2
43,20					6,179	3,00	6 078	0,10167	5 697	1,75526	5,792	5,904	2
	t				t	m	t/m	cm	t/m	cm	t	t/massa	

3. Baricentro delle molle

Si fa riferimento alla seguente figura 2.

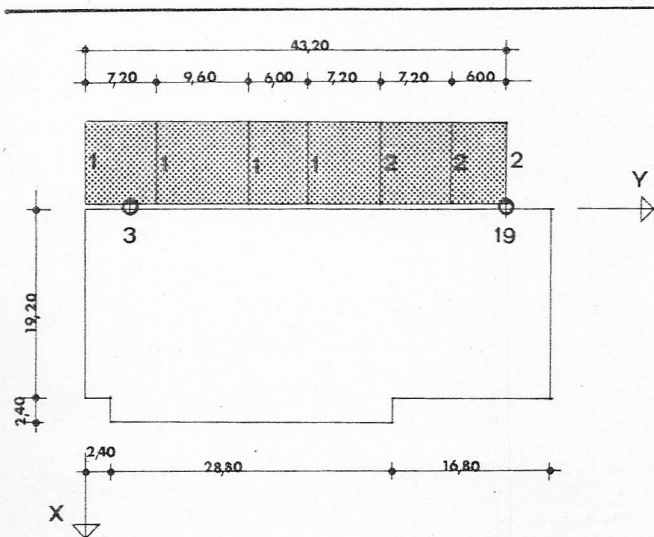


Fig. 2. Posizione del gruppo di telai in c.a.

$$\Sigma Ky = K_1 (7,20 + 16,80 + 22,80) + K_2 (30 + 37,20 + 43,20) = K_1 \times 46,80 + K_2 \times 110,40 = 1 187 975 \text{ tm/m}$$

$$\Sigma K = 4 K_1 + 3 K_2 = 64 871 \text{ t/m}$$

$$Y_k = 18,313 \text{ m}$$

$$\Sigma Ky^2 = K_1 (22,64^2 + 15,44^2 + 5,84^2) + K_2 (0,16^2 + 7,36^2 + 14,56^2 + 20,56^2) = 785,07 K_1 + 688,90 K_2 = 6 138 754 \text{ tm}$$

Poiché è impedito lo spostamento relativo nei nodi 3,19 della struttura spaziale in direzione X

$$\begin{cases} K_3 + K_{19} = \Sigma K \\ K_3 \cdot 4,80 + K_{19} \cdot 43,20 = \Sigma Ky \end{cases}$$

$$K_3 = 42 043 \text{ t/m} \quad K_{19} = 22 828 \text{ t/m}$$

4. Baricentro delle forze

In riferimento alla Tabella I ed alla figura 2 si hanno i valori seguenti:

$$\Sigma FX = 101,648 \text{ t}$$

$$\Sigma FXy = 21,333 \times 7,20 + 19,809 \times 16,80 + 16,762 \times 22,80 + 14,829 \times 30,00 + 13,593 \times 37,20 + 6,179 \times 43,20 = 2086,02 \text{ tm}$$

$$y_f = 20,522 \text{ m}$$

$$\begin{cases} F_3 + F_{19} = \Sigma FX \\ F_3 \cdot 4,80 + F_{19} \cdot 43,20 = \Sigma FXy \end{cases}$$

$$\begin{aligned} F_3 &= 60,031 \text{ t} & F_{19} &= 41,617 \text{ t} \\ M_3 &= 6,119 \text{ tmassa} & M_{19} &= 4,242 \text{ tmassa} \\ \delta_3 &= F_3/K_3 = 0,143 \text{ cm} & \delta_{19} &= F_{19}/K_{19} = 0,182 \text{ cm} \end{aligned}$$

5. Cinematismo del corpo in c.a.

Poiché si può ammettere che esso sia infinitamente rigido nel piano X Y e che si abbia  $\delta_y = 0$  avremo una legge per gli spostamenti trasversali:

$$\delta_x(y) = a_0 + a_1 y$$

le costanti  $a_0, a_1$  possono essere determinate imponendo le condizioni

$$\begin{cases} y = 4,80 \text{ m} & \delta = \delta_3 \\ y = 43,20 \text{ m} & \delta = \delta_{19} \end{cases} \begin{cases} a_0 + 4,80 a_1 = 0,143 \\ a_0 + 43,20 a_1 = 0,182 \end{cases}$$

da cui si ha

$$\delta_x(y) = 0,1381 + 1,0156 \cdot 10^{-3} y$$

per cui il sistema di telai ha un comportamento globale diverso da quello dei singoli telai considerati indipendenti fra di loro come nella precedente Tabella I. I dati caratteristici di tale comportamento sono raccolti nella seguente Tabella II.

Ciascuno di essi, in quanto facente parte del gruppo, assorbirà una azione orizzontale pari a quella che gli compete come telaio singolo con un coefficiente di amplificazione pari al rapporto  $\delta_{gruppo}/\delta_{singolo}$ .

TABELLA II - Comportamento del sistema di telai.

Y	δ		δ <sub>gr</sub> /δ <sub>s</sub>	ΣFX	
	singolo	gruppo		singolo	gruppo
0,00	0,06641	0,1381	2,080	9,143	19,012
7,20	0,15495	0,1454	0,912	21,333	19,447
16,80	0,14388	0,1552	1,079	19,809	21,368
22,80	0,12175	0,1613	1,325	16,762	22,207
30,00	0,24399	0,1686	0,691	14,829	10,247
37,20	0,22365	0,1759	0,786	13,593	10,691
43,20	0,10167	0,1820	1,790	6,179	11,061

6.1. Nodi

Per tutti si ha  $\varphi_x = \varphi_y = \varphi_z = 0$ , essi sono così distribuiti:

— superiori 22 ÷ 41, 63 ÷ 82, 104 ÷ 123, 145 ÷ 164, 186 ÷ 205, 227 ÷ 246, 268 ÷ 287, 309 ÷ 328, 350 ÷ 361, Z = + 6,597 m  $\delta_x, \delta_y, \delta_z \neq 0$

— inferiori 1 ÷ 21, 42 ÷ 62, 83 ÷ 103, 124 ÷ 144, 165 ÷ 185, 206 ÷ 226, 247 ÷ 267, 288 ÷ 308, 324 ÷ 349, 362 ÷ 374, di cui:

- vincoli con il corpo in c.a. tramite i nodi 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, per cui  $\delta_z = 0$  nodi 3,19  $\delta_x = 0$  nodo 3,  $\delta_y = 0$
- vincoli con i pendoli nei nodi 83, 103, 165, 185, 247, 267, 329, 349, per cui  $\delta_z = 0$
- per tutte le componenti cinematiche non specificate in precedenza  $\delta_x, \delta_y, \delta_z \neq 0$
- per tutti i nodi Z = + 4,900 m
- ombrelli 375 ÷ 380, Z = + 3,203 m,  $\delta_z = 0, \delta_x, \delta_y \neq 0$

Le coordinate di tutti i nodi ed i relativi vincoli sono riportati nella figura 1.

### 6.2. Aste

- orizzontali 1 ÷ 688
- diagonali 689 ÷ 1376
- ombrelli 1377 ÷ 1400

### 7. Schema statico

Esso è quello della figura 3 seguente:

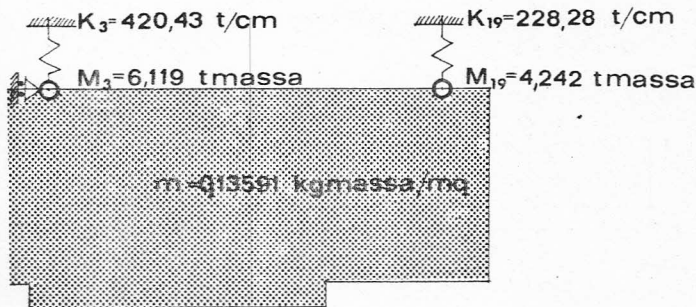


Fig. 3. Schema delle masse e delle molle.

Corrispondente ad una struttura isostatica nel piano orizzontale  $x$  e  $y$  e soggetta a  $(11 + 8 + 6) = 25$  vincoli perimetrali agli spostamenti verticali secondo  $Z$ .

Le rigidità delle molle e le masse concentrate nei punti 3,19 sono quelle già calcolate in precedenza.

Assumiamo per il carico permanente e per il sovraccarico accidentale:

$$g = p = 100 \text{ kg/m}^2$$

a cui corrisponde una massa distribuita:

$$m = (g + p/3) / 981 = 0,13591 \text{ kgmassa/m}^2.$$

### 8. Carichi esterni incidenti sulle singole aste

Nel programma di calcolo usato tali carichi sono forniti come carichi ripartiti nel volume delle aste stesse. Se consideriamo l'area modulare indicata nella figura 4, essa vale  $A = 2,40 \times 2,40 = 5,76 \text{ m}^2$  ed in essa ricadono le seguenti aste

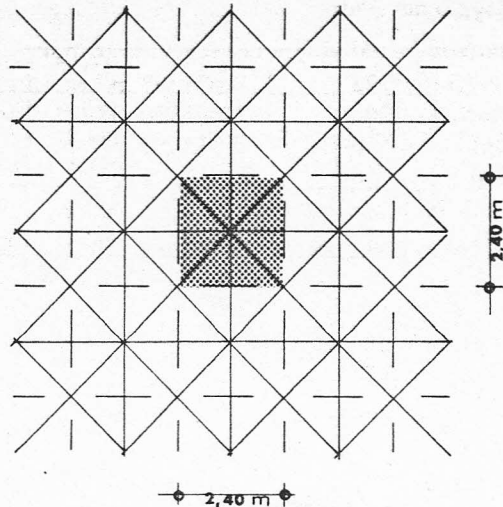


Fig. 4. Area di influenza considerata.

- superiori  $4 \cdot 1/2 = 2$
- inferiori  $4 \cdot 1/2 = 2$
- diagonali  $= 4$
- Totale n. = 8

Un carico ripartito di  $100 \text{ kg/m}^2$  si ripartirà su ciascuna asta con valore costante

$$P = A \cdot 100/n = 72 \text{ kg.}$$

Si usano aste tubolari aventi 4 tipi di sezione  $S_i$ , affinché ciascuna di esse pesi  $P$  deve avere il peso specifico  $g_i$  o la massa specifica  $m_i$ , fornita dalle espressioni seguenti:

$$V_i = S_i \cdot 240$$

$$g_i = P/V_i$$

$$m_i = P (1 + 1/3) / 981 V_i$$

Tali risultati sono stati raccolti nella Tabella III.

Per ciascuna delle 1 400 aste, tramite elaboratore, sono stati calcolati:

- l'indice del primo nodo di estremità  $I$ ,
- l'indice del secondo nodo di estremità  $J$ ,
- il tipo di sezione adottata.

### 9. Distribuzione delle aste

Essa è quella della seguente Tabella IV:

Asta tipo	$S_i$	$V_i$	$g_i$	$m_i$	p. proprio
1	13,96	3 350,4	$21,490 \cdot 10^{-3}$	$2,9208 \cdot 10^{-5}$	26,31
2	11,81	2 834,4	$25,402 \cdot 10^{-3}$	$3,4526 \cdot 10^{-5}$	22,26
3	8,62	2 068,8	$34,804 \cdot 10^{-3}$	$4,7304 \cdot 10^{-5}$	16,25
4	6,65	1 596,0	$45,113 \cdot 10^{-3}$	$6,1315 \cdot 10^{-5}$	12,53
	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	kg/cm <sup>3</sup>	kg massa/cm <sup>3</sup>	kg

TABELLA III - Caratteristiche delle sezioni usate.

Tipo	$l$	Sezione				n. totale
		1	2	3	4	
superiori	sec. X	2,40	90	62		152
	sec. Y	2,40		103	60	163
inferiori	sec. X	2,40	39	50		181
	sec. Y	2,40		112	80	192
diagonali	$4 \times 172$	2,40		448	240	688
pendoli	1,20			4		4
ombrelli	$6 \times 4$	2,40		24		24
n. totale		39	140	$841 + 8 \cdot \frac{1}{2}$	380	$1 400 + 8 \cdot \frac{1}{2}$
Pesi in kg		1 026,09	3 116,40	13 731,25	4 761,4	22 635,14

TABELLA IV - Conteggio delle aste.

Il conteggio delle aste è stato dettagliatamente calcolato tramite elaboratore.

### 10. Conteggio dei nodi

Essi si possono suddividere nei seguenti gruppi:

— superiori	172	Z = 6,597 m
— inferiori	202	Z = 4,900 m
— ombrelli	6	Z = 3,203 m
— pendoli	8	Z = 3,700
Totale n. = 388		

Peso totale dei nodi  $388 \times 1,5 = 582$  kg.

### 11. Peso proprio strutturale

Esso vale

$$G = 22\,635,14 + 582 = 23\,217,14 \text{ kg}$$

L'area di ingombro è:

$$A = 48,00 \times 19,20 + 28,80 \times 2,40 = 990,72 \text{ m}^2$$

L'incidenza sulla superficie unitaria

$$g_1 = G/A = 23,43 \text{ kg/m}^2.$$

### 12. Matrice di rigidezza

Si ammette che i nodi si comportino come cerniere sferiche. Si è eseguita la numerazione dei nodi in maniera tale che la max differenza fra gli indici delle 1 400 aste risultasse più contenuta possibile; ciò è stato ottenuto numerando successivamente i nodi degli allineamenti secondo l'asse passando da un allineamento al successivo secondo l'ascissa  $x$  crescente.

In tale maniera si è potuta ottenere una matrice di rigidezza  $K$  di rango pari a:

nodi totali	$380 \times 3$	1 140
nodi della cerniera cil	$11 + 1 + 2$	— 14
nodi mobili		1 126
vincoli di pendoli $2 \times 4$		— 8
vincoli degli ombrelli		— 6
gradi di libertà = n. equazioni = rango $\widehat{K}$		1 112

con una semibanda più contenuta possibile e pari a 227 unità.

### 13. Condizioni e combinazioni di carico

Ogni asta viene supposta soggetta alle azioni seguenti:

caso A  $g_x = g$ ,

caso B  $g_y = g$ ,

caso C  $g_z = g$ ,

caso D cinematicismo del gruppo di telai in c.a.

I casi A, B, C, corrispondono ad una azione di  $0,100 \text{ t/m}^2$  di superficie orizzontale di copertura in ciascuna delle tre direzioni ortogonali  $x, y, z$ .

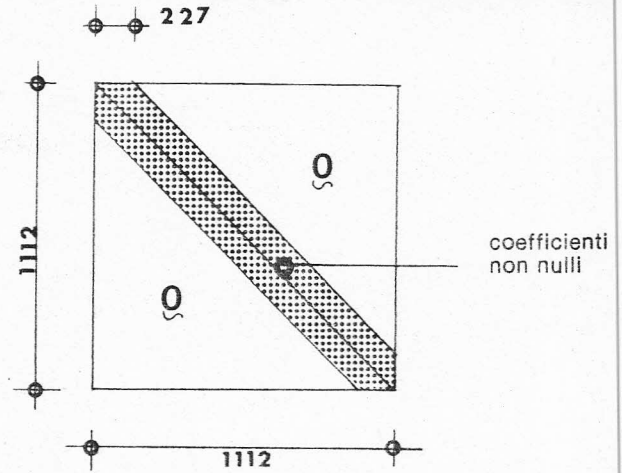


Fig. 5. Distribuzione dei coefficienti nella matrice.

Dopodichè si considerano le varie condizioni di carico mediante opportune combinazioni lineari come nella seguente Tabella V.

TABELLA V - Combinazione delle azioni.

	A	B	C	D
1 G			— 1	
2 G + P			— 2	
3 G + P + S <sub>z</sub>			— 2,13	
4 S <sub>x</sub>	0,13		0	1
5 G + P + S <sub>x</sub>	0,13		— 2	1
6 G + P — S <sub>x</sub>	— 0,13		— 2	— 1
7 S <sub>y</sub>		0,13	0	
8 G + P + S <sub>y</sub>		0,13	— 2	
9 G + P — S <sub>y</sub>		— 0,13	— 2	
10 $\delta_3, \delta_{19}$				1

### 14. Reazioni verticali massime

Si sono esaminate tutte le condizioni di carico statiche e si sono desunte le forze massime riportate nella seguente Tabella VI.

### 15. Componenti delle reazioni vincolari

Per i vari gruppi di vincolo, si raccolgono i valori massimi nella seguente Tabella VII.

TABELLA VI - Reazioni massime dei singoli vincoli verticali.

Appoggi X = 0,00		Pendoli					
Nodo	FZ	Y	Nodo	FZ	X	Nodo	FZ
1	2 480	0,00 m	83	4 403	20,40 m	375	24 466
3	15 361		165	4 512		376	35 000
5	9 300		247	4 197		377	36 698
7	9 877		329	1 444		378	36 096
9	10 595						
11	9 374	48,00 m	103	3 470	18,00 m	379	37 126
13	10 062		185	3 537		380	24 242
15	9 653		267	3 007			
17	8 594		349	905			
19	13 213						
-21	1 512						

Tutte le forze sono espresse in kg.

TABELLA VII - Reazioni massime.

Vincoli	Punti	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$
Cerniera cilindrica	1,5,7,9,11,13,15,17,21	0,00	0,00	10 062
	3	6 605	13 210	15 392
	19	6 605	0,00	13 554
Pendoli $Y = 0,00$ $Y = 48,00$	83,165,247,329	0,00	0,00	4 512
	103,185,267,349	0,00	0,00	3 537
Ombrelli $X = 20,40$ $X = 18,00$	375,376,377,378	0,00	0,00	36 698
	379,380	0,00	0,00	24 242

**16. Periodi propri**

Si è eseguita l'analisi dinamica della struttura soggetta al sisma nelle due direzioni ortogonali  $S_x, S_y$ , e si sono determinati i primi sei modi di vibrazione i cui periodi sono riportati nella seguente Tabella VIII.

TABELLA VIII - Periodi propri della struttura (in secondi).

Modo	$T$
I	0,599
II	0,392
III	0,269
IV	0,261
V	0,219
VI	0,184

Si vede che sono importanti solo i contributi cinematici dei primi tre modi di vibrazione, praticamente: si riportano questi spostamenti nelle seguenti figure 6, 7, 8, e nella Tabella IX. Il primo ed il terzo modo sono sostanzialmente di tipo torsionale; mentre il secondo, che è il più importante come intensità è di tipo flessionale.

**17. Tabella degli spostamenti**

Essi sono tutti espressi in centimetri e riportati in Tabella IX.

**18. Apparecchi di appoggio**

A - Sotto gli appoggi  $X = 0,00$  m

- In corrispondenza dei punti 1, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 21 si disporranno degli apparecchi capaci di:
  - impedire lo spostamento verticale sopportando una forza massima di 10 595 kg,
  - consentire spostamenti orizzontali relativi al corpo in c.a. di valori massimi  $\delta_x = \pm 20$  mm,  $\delta_y = \pm 40$  mm.
- In corrispondenza del punto 3 si disporrà un apparecchio di appoggio capace di impedire ogni componente cinematica di traslazione ed in grado di resistere alle seguenti forze massime  $F_x = 6 605$  kg,  $F_y = 13 210$  kg,  $F_z = 15 392$  kg.
- In corrispondenza del punto 19 si disporrà un apparecchio di appoggio capace di:
  - impedire spostamenti nelle direzioni  $x, y$  e resistere alle forze massime  $F_x = 6 605$  kg,  $F_z = 13 554$  kg,
  - consentire spostamenti  $\delta_y = \pm 40$  mm.

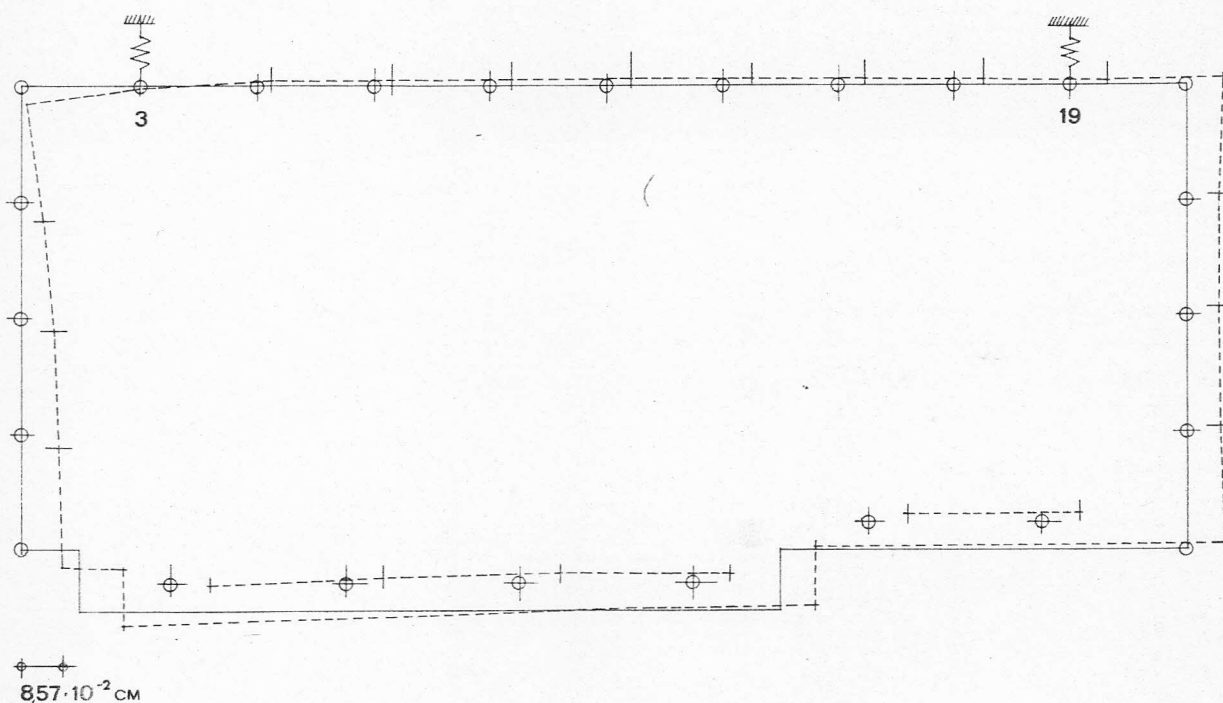


Fig. 6. 1° modo di vibrazione.  $T = 0,599$  sec.

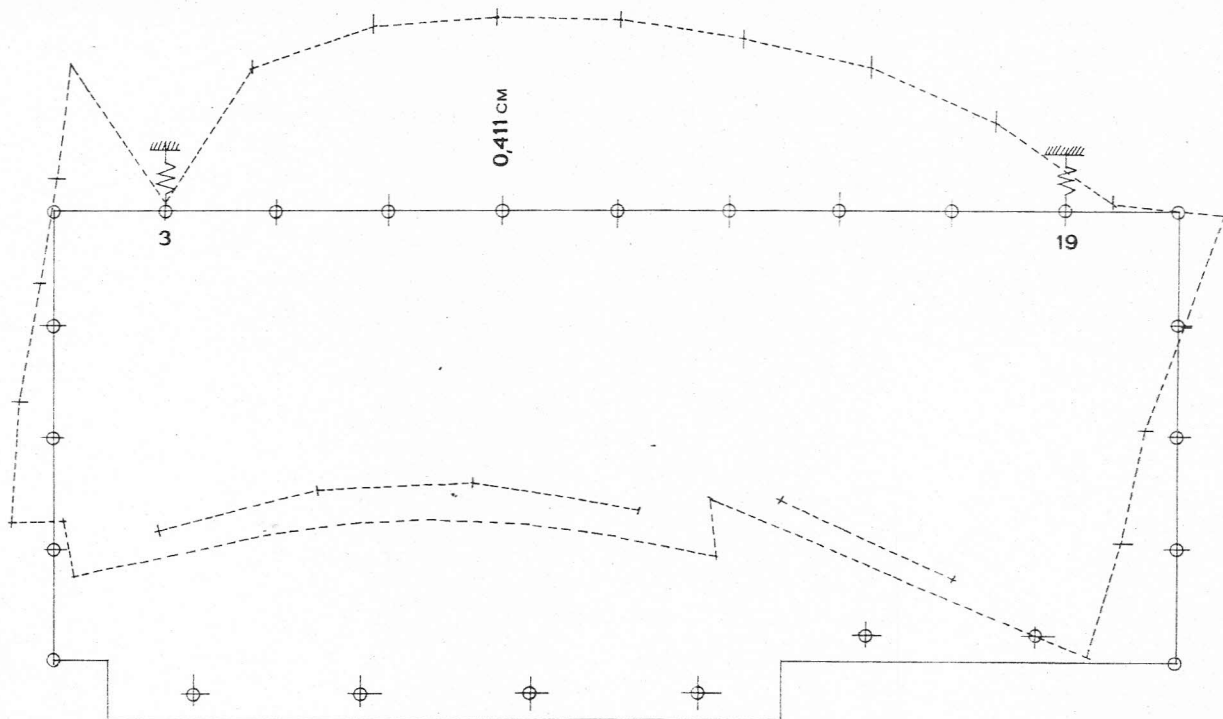


Fig. 7. 2° modo di vibrazione.  $T = 0,392$  sec.

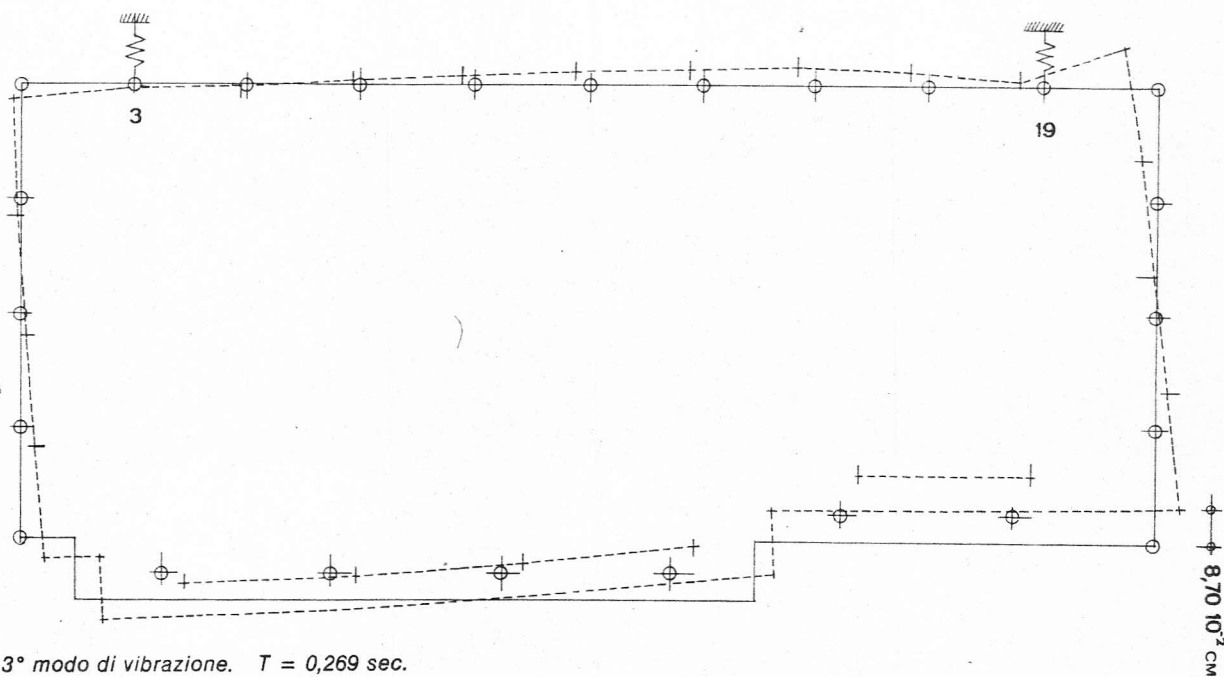


Fig. 8. 3° modo di vibrazione.  $T = 0,269$  sec.

TABELLA IX - Calcolo degli spostamenti massimi e minimi.

Punti	Carichi verticali max		Sisma statico		Sisma dinamico		Spostamenti totali				
	x	y	x	y	x	y	X		Y		
							min	max	min	max	
APPOGGI X = 0,00	1	0,611	-0,042	0,392	0,104	0,309	0,132	-0,625	1,847	-0,570	0,486
	3	0,00	0,00	0,171	0,00	0,21	0,000	-0,084	0,084	0,00	0,00
	5	0,101	0,060	0,457	0,293	0,302	0,361	-1,107	1,309	-1,384	1,504
	7	-0,005	0,062	0,545	0,379	0,379	0,477	-1,521	1,511	-1,846	1,970
	9	-0,060	0,065	0,588	0,442	0,412	0,570	-1,708	1,588	-2,215	1,245
	11	-0,088	0,067	0,600	0,492	0,410	0,649	-1,728	1,552	-2,529	2,663
	13	-0,103	0,069	0,578	0,531	0,374	0,712	-1,599	1,393	-2,779	2,917
	15	-0,112	0,074	0,519	0,559	0,300	0,782	-1,312	1,088	-3,054	3,202
	17	-0,091	0,081	0,417	0,577	0,191	0,839	-0,855	0,673	-3,275	3,437
	19	0,00	0,093	0,211	0,575	0,019	0,892	-0,076	0,076	-3,475	3,661
	21	0,174	0,109	0,290	0,568	0,093	0,866	-0,198	0,546	-3,355	3,573

(segue)

(seguito Tabella IX)

Punti	Carichi verticali max		Sisma statico		Sisma dinamico		Spostamenti totali				
	x	y	x	y	x	y	X		Y		
							min	max	min	max	
PENDOLI y = 0,00	83	0,618	-0,179	0,398	0,434	0,313	0,544	-0,634	1,870	-1,997	2,355
	165	0,618	-0,229	0,402	0,613	0,315	0,763	-0,642	1,878	-3,281	2,823
	247	0,623	-0,136	0,404	0,733	0,315	0,910	-0,637	1,883	-3,776	3,504
	329	0,642	0,120	0,403	0,835	0,314	1,042	-0,614	1,898	-4,048	4,288
PENDOLI y = 48,00	103	0,190	0,344	0,297	0,610	0,092	0,823	-0,178	0,558	-2,948	3,636
	185	0,196	0,442	0,303	0,671	0,090	0,853	-0,164	0,556	-2,970	3,854
	267	0,198	0,403	0,305	0,730	0,089	0,896	-0,158	0,554	-3,181	3,987
	349	0,208	0,283	0,305	0,768	0,088	0,913	-0,144	0,560	-3,369	3,935
OMBRELLI x = 20,40	375	1,428	0,078	0,463	0,850	0,354	1,065	0,012	2,844	-4,182	4,338
	376	1,859	0,190	0,563	-0,053	0,433	1,040	0,127	3,591	-3,970	4,350
	377	1,878	0,256	0,605	0,811	0,448	1,009	0,086	3,670	-3,780	4,292
	378	1,696	0,247	0,589	0,794	0,398	0,978	0,104	3,288	-3,665	4,159
OMBRELLI x = 18,00	379	2,046	0,530	0,520	0,765	0,299	0,930	0,850	3,242	-3,190	4,250
	380	0,976	0,350	0,384	0,756	0,144	0,906	0,400	1,552	-3,274	3,974

#### B - Pendoli

Essi dovranno essere in grado di:

- sopportare carichi verticali massimi  $N_z = 4\,512$  kg,
- consentire spostamenti bidirezionali di almeno  $\delta_x = \pm 10$  mm e  $\delta_y = \pm 45$  mm.

#### C - Sotto gli ombrelli

Si disporranno apparecchi con superfici a contatto in Teflon con coefficiente di attrito  $f \leq 0,03$  capace di:

- sopportare carichi verticali massimi  $N_z = 36\,698$  kg,
- consentire spostamenti bidirezionali di almeno  $\delta_x = \pm 20$  mm e  $\delta_y = \pm 45$  mm, l'apparecchio sarà montato con il suo asse verticale avanzato di  $\Delta_x = 20$  mm rispetto alla posizione di riposo del vertice dell'ombrello.

Si noti che gli spostamenti summenzionati derivano da un'analisi dinamica del sisma con amplificazione quadrupla del corrispondente cinematico. Inoltre, tali spostamenti si

potranno avere solo dopo il manifestarsi di fenomeni elastoplastici per i retrostanti telai in cemento armato.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Belluzzi O., «Scienza delle costruzioni», Cap. XXII, Le strutture reticolari nello spazio, pp. 537-577, Bologna, Zanichelli.
- [2] Di Pasquale S., «Metodi di calcolo per le strutture spaziali», CISIA, 1978, Milano.
- [3] Flügge W., «Stresses in shells», Springer Verlag, Berlino, 1962.
- [4] Makowski Z.S., «Interconnected systems, two-and three-dimensional grids», The Guilds' Engineer, 1955, pp. 11-28.
- [5] Makowski Z.S., «Steel space structures», Amice, Londra, 1965.
- [6] Soare M., «La couple métallique reticulaire du pavillon de L'Exposition de L'Economie Nationale a Bucarest», Proceedings, IASS Colloquium, Parigi, 1962.
- [7] Southwell R.V., «Primary stress determination in space frames», Engineering.

