



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

-Crotone Museo REL modello di calcolo /2013

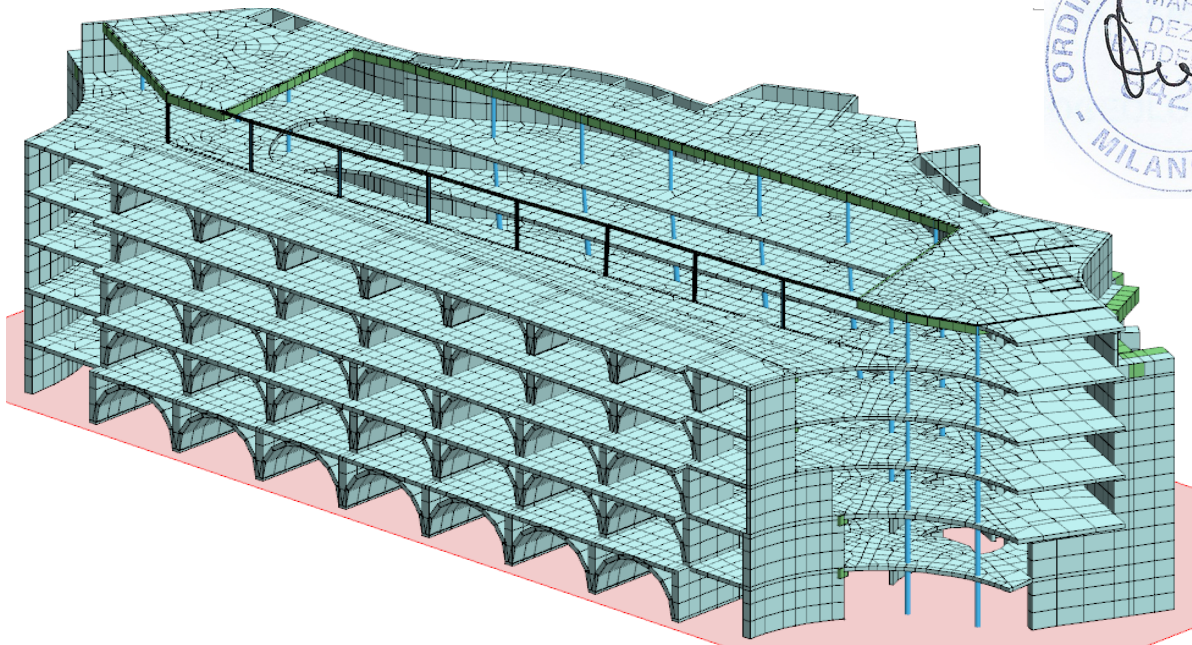
REALIZZAZIONE DEL "NUOVO MUSEO ARCHEOLOGICO NAZIONALE"
(Da ricavarsi internamente alla "Cortina Sud" del Castello di Carlo V a Crotone)

(5)- PROGETTO STRUTTURALE
ELABORATO: (ST.2.02)

***- RELAZIONE DESCRITTIVA SUL MODELLO STRUTTURALE E SULLE IPOTESI DI CALCOLO**

Il R.U.P.:
STRUTTURA:

Elisabetta Antonia Dominijanni
Vincenzo Felice Maria Dragonetti



Progettista e coordinatore : **Marco Dezzi Bardeschi**
Il Tecnico strutturista: **Alessandro Melani**

BREVE DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

La struttura è stata esaminata attraverso un apposito modello matematico riprodotto accuratamente le condizioni reali (Vedi schemi grafici unifilari e ricostruzioni tridimensionali). Nella modellazione effettuata, la struttura portante viene studiata come un unico insieme spaziale, conforme alla situazione geometrica reale ed al quadro sollecitazionale esterno. Si descrivono nel seguito le caratteristiche strutturali del modello di calcolo, riportandone i parametri e le componenti fondamentali.

Fatta eccezione per alcune travi e pilastri modellati con "elementi asta", la quasi totalità delle



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

Membrature strutturali, (solette in C.A., setti in elevato, e pareti componenti il diaframma), sono state modellate ricostruendo il continuo mediante l' aggregazione di speciali "elementi bidimensionali" di piccole dimensioni. Il numero complessivo di detti elementi, (una sorta di mattone utilizzato per comporre il continuo) è di ben **18.037**. La maglia del reticolo virtuale che inquadra e connette tutti questi elementi, comprende **18.033** nodi fittizi. Le aste reali, (travi, pilastri), sono **811**.

Solo alcuni dei nodi fondamentali sono stati inseriti mediante coordinate spaziali in fase di costruzione. La maggior parte di quelli intermedi, vengono auto-generati dal programma (i nodi auto-generati sono riconoscibili in quanto contraddistinti da n.ri negativi).

L' impiego di un così alto numero di nodi ed elementi bidimensionali, derivano dalla scelta di aver operato una "meshiatura" in maglie di piccola dimensione dei continui, per ottenere una maggior precisione nei risultati.

Per quanto riguarda gli orizzontamenti, totalmente modellati attraverso elementi bidimensionali, si è optato nel considerare gli impalcati come "rigidi" nel proprio piano, il tutto schematizzato nella modellazione con la modalità "Master-Slave", per la quale l' impalcato risulta planimetricamente indeformabile ed i suoi movimenti nel piano sono vincolati per tutti i nodi allo spostamento del nodo "Master". Tale ipotesi è stata adottata perché nel nostro caso risulta abbastanza prossima alla realtà e perché consente una grossa semplificazione di calcolo, utile vista la quantità dei nodi presenti su ciascun impalcato. Questa modellazione riduce i gradi di libertà di ciascun nodo da sei a tre, abbreviando notevolmente i tempi di elaborazione da parte del software di calcolo..

Tutti gli schemi grafici, necessari per l' interpretazione del modello, vengono descritti, sia planimetricamente che per sezioni verticali, sulle tabelle riportate in apposito fascicolo (Vedi elaborato **ST.2.2**). La ricostruzione tridimensionale della struttura così come è stata elaborata, viene effettuata direttamente dal programma di calcolo e resa in forma di viste prospettiche, con punti di vista da qualunque direzioni (Vedi elaborato **ST.2.1**). Ciò consente di poter fornire una buona comprensione d'insieme del lavoro svolto, e soprattutto di visualizzare la corretta introduzione della geometria e dei dati assegnati.

DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI
NELLA RISOLUZIONE DEI MODELLI PRECEDENTI

La procedura di calcolo seguita è quella cosiddetta "**agli stati limite**", secondo quanto stabilito



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

e descritto sul **DM 14.01.2008** – (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni).

La verifica sismica delle strutture è stata effettuata utilizzando come solutore il programma "**XFinest vers. 2013**", prodotto dalla "CE.AS." di Milano, che sviluppa la procedura di calcolo secondo il metodo "**degli elementi finiti**". La modellazione delle membrature strutturali, la determinazione delle armature presenti su tutte le sezioni in C.A e le conseguenti verifiche finali, vengono effettuate mediante il programma "**MODEST vers.8.2**" prodotto dalla "Tecnisoft" di Prato. Le sollecitazioni per le quali vengono effettuate le verifiche sono, punto per punto, le più critiche fra tutte quelle scaturite dalle condizioni di carico esaminate.

ANALISI DEI CARICHI PRESENTI

Rispetto allo spiccato di fondazione, il fabbricato presenta SEI orizzontamenti in elevato.

Assunto pari a **+0,00** il livello di estradosso dalle fondazioni, si assegna quota **+3,75** mt al primo impalcato (piano primo), e quote **+7,55**, **+10,95**, **+14,55**, **+18,15**, **+21,85**mt, rispettivamente per gli estradossi dei solette sovrastanti. (Da considerare che sui grafici di progetto, i sei livelli assoluti di cui sopra, riportati come riferimento sui grafici, sono i seguenti: **+23,95**, **+27,75**, **+31,15**, **+34,75**, **+38,35** e **+42,05** mt) Per tutti i gli impalcati, la tipologia costruttiva prevede **soletta in C.A. continua ed indifferenziata**, con spessore generalmente di 25 cm. Fanno eccezione i primi due impalcati che presentano uno spessore maggiorato in ragione di particolari esigenze statiche. Il secondo impalcato verrà eseguito in corso di scavo per costituire un elemento di contrasto a favore del diaframma ed avrà spessore di **32 cm**. con capitelli "a fungo" in corrispondenza dei pilastri centrali. In questa fase provvisoria, lo schema statico sarà diverso da quello definitivo per la mancanza di alcune membrature verticali. Anche il primo impalcato avrà spessore maggiorato a **28cm** avendo previsto maggiori sovraccarichi per l' utilizzo quale deposito mussale.

Per l'orizzontamento di fondazione, (estradosso a quota **+20,20** mt), si prevede infine l' esecuzione di una platea sottile in C.A. dello spessore di **30** cm distesa su di un sottofondo di ripartizione costituito in CLS magro.

Riguardo ai carichi unitari considerati, in aggiunta al peso proprio delle membrature strutturali, calcolato in automatico dal programma, valgono gli schemi di riferimento seguenti, (assunti a base del calcolo generale di verifica): Da considerare che la distribuzione dei carichi sul



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

modello, non avverrà in modo lineare sulle travi, con le inevitabili approssimazioni, ma in maniera assolutamente distribuita sulla superficie dei piccolo elementi bidimensionali. Il peso proprio delle membrature strutturali sarà invece calcolato in automatico dal codice di calcolo.

- **Primo Impalcato** Quota estradosso: **+23,95** mt. (livello 3,75)
(Soletta in C.A. spess. 28 cm)

Peso proprio struttura	700 Kg/mq
Altri pesi permanenti (pavimenti, sottofondi)	200 Kg/mq
Sovraccarichi utili	600 Kg/mq

- **Secondo Impalcato** Quota estradosso: **+27,75** mt. (livello 7,55)
(Soletta in C.A. spess. 32 cm)

Peso proprio struttura	800 Kg/mq
Altri pesi permanenti (pavimenti, sottofondi)	200 Kg/mq
Sovraccarichi utili	500 Kg/mq

- **Terzo Impalcato** Quota estradosso: **+31,15** mt. (livello 10,95)
(Soletta in C.A. spess. 25 cm)

Peso proprio struttura	625 Kg/mq
Altri pesi permanenti (pavimenti, sottofondi)	200 Kg/mq
Sovraccarichi utili	500 Kg/mq

- **Quarto Impalcato** Quota estradosso: **+34,75** mt. (livello 14,55)
(Soletta in C.A. spess. 25 cm)

Peso proprio struttura	625 Kg/mq
Altri pesi permanenti (pavimenti, sottofondi)	200 Kg/mq
Sovraccarichi utili	500 Kg/mq

- **Quinto Impalcato** Quota estradosso: **+38,35** mt. (livello 18,15)
(Soletta in C.A. spess. 25 cm)

Peso proprio struttura	625 Kg/mq
Altri pesi permanenti (pavimenti, sottofondi)	200 Kg/mq
Sovraccarichi utili	500 Kg/mq

- **Sesto Impalcato** Quota estradosso: **+42,05** mt. (livello 21,85)
(Soletta in C.A. spess. 25 cm)

Peso proprio struttura	625 Kg/mq
------------------------	------------------



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

Altri pesi permanenti (pavimenti, sottofondi)	200 Kg/mq
Sovraccarichi utili	150 Kg/mq

Per quanto riguarda altri carichi significativi, occorre ricordare la presenza dei SETTE alberi in acciaio allineati entro l' atrio centrale e portanti delle speciali "chiome" modulari che ne costituiscono la copertura. Trattandosi di una serie di manufatti particolari, questi sono stati esaminati a parte utilizzando poi tutte le reazioni vincolari come carichi applicati sulla struttura principale. Per le reazioni verticali abbiamo VENTUNO nodi di applicazione, sui quali si inserisce il carico scaturito dalla condizione "SLU statica" degli alberi. Per le spinte orizzontali sono previsti SEI nodi di applicazione ai bordi del sesto impalcato, ed in questo caso si utilizzano nelle due direzioni i valori ricavati dalle condizioni sismiche, opportunamente combinati fra loro. A titolo di esempio, i massimi carichi verticali al piede di ciascun dei sette alberi, valgono $\approx 39.500 \text{ kg}$ (come somme delle componenti fissa ed accidentale). Le forze sismiche prodotte dagli alberi sono massime in **direzione "y"** dove non viene sfruttato l' effetto telaio del filare. In questo caso le azioni complessive per tutti i SEI punti di ancoraggio collocati a quota +42,05mt, sarà di $\approx 175.000 \text{ kg}$

L' altra grande componente di carico (e di massa sismica) è certamente rappresentata dalla cortina muraria esistente che viene solidarizzata con la nuova struttura. La gran parte del peso proprio risulta essere già computata dal programma che ne riproduce la geometria costituita da cinque ordini di volte a botte impostate su setti trasversali. Si aggiungono come carichi fissi portati i rinfianchi delle volte e la parete in blocchi di tufo che tampona esternamente tutte le volte. Nel primo caso si considera un peso che, globalmente, sui cinque livelli vale $\approx 880.000 \text{ kg}$. Per il paramento interno della cortina, si considerano, su ciascuno dei quattro livelli in elevato, i corrispondenti valori: **228.000, 253.000, 139.500, 139.500 kg**

Tutti i diversi carichi sopra descritti, assieme a molti altri secondari, non riportati in elenco, ma attentamente considerati, sono stati combinati assieme in **20 condizioni di carico** distinte, considerando le condizioni statiche e dinamiche secondo i coefficienti sotto descritti:

Combinazioni delle Condizioni di Carico Elementari. (Simbologia)



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
 Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
 Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

CC = Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari
Comm. = Commento

TCC	=	Tipo di combinazione di carico
		SLU = Stato limite ultimo
		SLU (S) = Stato limite ultimo (azione sismica)
		SLE (R) = Stato limite d'esercizio, combinazione rara
		SLE (F) = Stato limite d'esercizio, combinazione frequente
		SLE (Q) = Stato limite d'esercizio, combinazione quasi permanente
		SLD = Stato limite di danno
		SLV = Stato limite di salvaguardia della vita
		SLC = Stato limite di prevenzione del collasso
		SLO = Stato limite di operatività

An. = Tipo di analisi: **L** = Lineare **NL** = Non lineare
Bk = Buckling **S** = Sì **N** = No

CC	Comm.	TCC	An.	Bk	1	2	3	4	5	6	7	Mt	±S X	±S Y
1	CC 1 - Amb. 1 (SLU S) S Mt+X+0.3Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.30
2	CC 2 - Amb. 1 (SLE) S Mt+X+0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.30
3	CC 3 - Amb. 1 (SLU S) S Mt+X-0.3Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	-0.30
4	CC 4 - Amb. 1 (SLE) S Mt+X-0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	-0.30
5	CC 5 - Amb. 1 (SLU S) S Mt+0.3X+Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.30	1.00
6	CC 6 - Amb. 1 (SLE) S Mt+0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.30	1.00
7	CC 7 - Amb. 1 (SLU S) S Mt-0.3X+Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	-0.30	1.00
8	CC 8 - Amb. 1 (SLE) S Mt-0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-0.30	1.00
9	CC 9 - Amb. 1 (SLU S) S -Mt+X+0.3Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	0.30
10	CC 10 - Amb. 1 (SLE) S -Mt+X+0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	0.30
11	CC 11 - Amb. 1 (SLU S) S -Mt+X-0.3Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	1.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	-0.30
12	CC 12 - Amb. 1 (SLE) S -Mt+X-0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	-0.30
13	CC 13 - Amb. 1 (SLU S) S -Mt+0.3X+Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	1.00	0.00	1.00	-1.00	0.30	1.00
14	CC 14 - Amb. 1 (SLE) S -Mt+0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.30	1.00
15	CC 15 - Amb. 1 (SLU S) S -Mt-0.3X+Y	SLV	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	1.00	0.00	1.00	-1.00	-0.30	1.00
16	CC 16 - Amb. 1 (SLE) S -Mt-0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	-0.30	1.00
17	CC 17 - Amb. 2 (SLU)	SLU	L	N	1.30	1.50	1.50	0.00	0.00	1.50	1.30	0.00	0.00	0.00
18	CC 18 - Amb. 2 (SLE R)	SLE R	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
19	CC 19 - Amb. 2 (SLE F)	SLE F	L	N	1.00	1.00	0.70	0.00	0.00	0.20	1.00	0.00	0.00	0.00
20	CC 20 - Amb. 2 (SLE Q)	SLE Q	L	N	1.00	1.00	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

COEFFICIENTI SISMICI ADOTTATI A BASE DEL CALCOLO

Sulla base delle normative in precedenza elencate, vengono determinate le azioni sismiche agenti sull'edificio. L'analisi viene svolta in forma dinamica in modo da simulare il fenomeno con la massima aderenza alla realtà.

Il metodo di calcolo seguito è quello dell' "Analisi Modale", che adotta, per lo spettro di risposta, le espressioni stabilite in relazione a tutte le varie casistiche dalla Normativa. Nel seguito vengono riportati i principali parametri di riferimento utilizzati.:

- Zona sismica: **SECONDA** (Classificazione **2**)
- Sito di costruzione: **Crotone**,
Longitudine. **17.12230**
Latitudine **39.08150**
- Contenuto tra ID reticolo: **(40794 40793 40572 40571)**

TCC	TR	Ag	FO	TC*	Ss	Cc
SLD	75	0.0654	2.40	0.32	1.50	1.53
SLV	712	0.1792	2.43	0.38	1.44	1.45

- Tipo di opera: **Opera ordinaria**
- Vita nominale **V_N: 50** anni
- Classe d'uso: **classe III**
- SL Esercizio: **SLD-Pvr 63.00**
- SL Ultimi: **SLV-Pvr 10.00**
- Classe di duttilità: **Classe B**
- Quota di riferimento: **0.00** <m>
- Altezza della struttura: **21.65** <m> (da spiccatto di fondaz. ad estradosso copertura)
- Numero piani edificio: **6**
- Coefficiente θ : **0**
- Edificio regolare in altezza: **NO**
- Edificio regolare in pianta: **NO**
- Forze orizzontali convenzionali per stati limite non sismici: **No**



COMUNE DI CROTONE
MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

- Categoria del suolo di fondazione:

C

- Tipologia edificio:

membrature in C.A., eseguite in opera ed aventi comportamento del tipo "a pendolo inverso"

Coeff. C_1	0.075
Periodo T_1	0.75276
Coeff. λ SLD	0,85
Coeff. λ SLV	0,85
Rapporto di sovraresistenza (α_n/α_1)	1.15
Valore di riferim. del fattore di struttura (q_0)	3.45
Fattore riduttivo (K_w)	0.80
Fattore di struttura (q)	1.50

- Categoria topografica: **T1** - Superficie piana, pendii e rilievi isolati con inclin. media $i \leq 15^\circ$

- Coeff. amplificazione topografica: **1.00**

- N.ro "Modi" da calcolare: **18**

- N.ro "Modi" considerati: sufficienti a movimentare una percentuale di massa Sismica almeno pari all' **85.00%** del totale presente

- Smorzamento spettro: **5.00**

L'analisi dinamica viene svolta considerando i primi **DICIOTTO** modi caratteristici di vibrazione, sufficienti a movimentare oltre L'85% delle masse presenti.

Sollecitazioni e deformazioni complessive saranno determinate per sovrapposizioni di effetti secondo i coefficienti moltiplicativi indicati nelle diverse condizioni di carico, il tutto combinato secondo la radice dei loro quadrati. Gli angoli di ingresso considerati per il sisma sono coincidenti con gli assi principali dello schema planimetrico di riferimento.

MASSE SISMICHE E FORZE ORIZZONTALI

Sulla base di tutti gli elementi assegnati, vengono elaborate **le masse sismiche** di piano ed i relativi **momenti polari**. I risultati, riscontrabili in maniera più estesa sui tabulati meccanografici, vengono riassunti nel seguito. (Solo valori relativi agli impalcati considerati come indeformabili)



COMUNE DI CROTONE

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI
Direzione Generale per i beni Culturali e Paesaggistici della Calabria
Sovrintendenza per i beni archeologici della Calabria

Primo impalcato	(livello estradosso: +3,70 mt. su spiccato fondazioni)		
	massa sismica	4.675.170	Kg.
	momento polare	2.490.970.000	Kgxm ² .
	centro di massa direz. "x"	42,60	mt.
	centro di massa direz. "y"	15,24	mt.
Secondo impalcato	(livello estradosso: +7,50 mt. su spiccato fondazioni)		
	massa sismica	4.800.340	Kg.
	momento polare	2.503.750.000	Kgxm ² .
	centro di massa direz. "x"	42,73	mt.
	centro di massa direz. "y"	15,46	mt.
Terzo impalcato	(livello estradosso: +10,95 mt. su spiccato fondazioni)		
	massa sismica	3.179.320	Kg.
	momento polare	1.910.360.000	Kgxm ² .
	centro di massa direz. "x"	42,68	mt.
	centro di massa direz. "y"	16,56	mt.
Quarto impalcato	(livello estradosso: +14,55 mt. su spiccato fondazioni)		
	massa sismica	3.050.920	Kg.
	momento polare	1.847.310.000	Kgxm ² .
	centro di massa direz. "x"	42,82	mt.
	centro di massa direz. "y"	17,20	mt.
Quinto impalcato	(livello estradosso: +18,15 mt. su spiccato fondazioni)		
	massa sismica	3.539.490	Kg.
	momento polare	2.176.100.000	Kgxm ² .
	centro di massa direz. "x"	42,77	mt.
	centro di massa direz. "y"	18,01	mt.
Sesto impalcato	(livello estradosso: +21,85 mt. su spiccato fondazioni)		
	massa sismica	954.219	Kg.
	momento polare	555.377.000	Kgxm ² .
	centro di massa direz. "x"	46,08	mt.
	centro di massa direz. "y"	22,12	mt.