



COMMISSARIO DELEGATO PER L'EMERGENZA
 DETERMINATASI NEL SETTORE DEL TRAFFICO E DELLA MOBILITÀ NEL
 TERRITORIO DELLE PROVINCE DI TREVISO E VICENZA

SUPERSTRADA A PEDAGGIO PEDEMONTANA VENETA

CONCESSIONARIO



SPV srl
 Via Inverio, 24/A
 10146 Torino



SIS SpA
 Via Inverio, 24/A
 10146 Torino

Consorzio Stabile fra le Imprese:



Sacyr Construcción S.A.U. INC S.p.A.



SIPAL S.p.A.



INFRASTRUCTURAS S.A.
 Paseo de la Castellana, 294D
 28046 Madrid

Società di progetto ai sensi dell'art. 156 D.LGS 163/06
 subentrato all'ATI

PROGETTISTA



SIPAL

Your global engineering partner

SIPAL S.p.A.
 Via Inverio, 24/A
 10146 Torino



RESPONSABILE PROGETTAZIONE



ORDINE DEGLI INGEGNERI
 DELLA PROVINCIA DI CUNEO
 1211 Dott. Ing. *Claudio Dogliani*

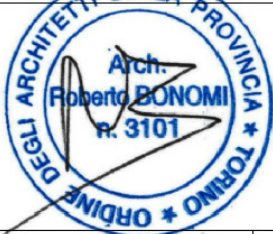
RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE



SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA E DELLE OPERE CIVILI



COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE



GEOLOGO



ORDINE INGEGNERI PROVINCIA TARANTO

Dott. Ing.

TURSO Adriano
 n° 1400

Sezione A

Settore:
 Civile Ambientale
 Industriale
 Informazione

N. Progr. _____
 CARTELLA N. _____

PROGETTO DEFINITIVO
 (C.U.P. H51B03000050009)

LOTTO 3 - TRATTA "C"
 dal Km. 74+075 al Km 75+625

TITOLO ELABORATO:

IMPIANTI TECNOLOGICI DELL'INFRASTRUTTURA PARTE GENERALE

Relazione tecnica specialistica impianti tecnologici speciali:
 Relazione esplicativa e di calcolo per plinti e strutture di sostegno - Fascicolo 9 di 10

P V D I M G E G E 3 C 0 0 0 - 0 0 5 0 0 0 9 R A 0

SCALA: -

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	DATA	VERIFICATO	DATA	APPROVATO	DATA
0	PRIMA EMISSIONE	Mobil - Service S.r.l.	24/03/2014	SIPAL	26/03/2014	SIS	28/03/2014

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Giuseppe FASIOL

IL COMMISSARIO:

Ing. Silvano VERNIZZI

VALIDAZIONE:

PROTOCOLLO : _____

DEL: _____

Relazione descrittiva generale impianti tecnologici speciali

SOMMARIO

1	RELAZIONEDI CALCOLO ED ELABORATI GRAFICI PER PALO FLANGIATO LEGGERO H=15 M	4
2	NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	4
3	MATERIALI.....	5
	ACCIAIO PER CARPENTERIA - <i>Lamiere fusto, flange, tirafondi</i>	5
4	CONDIZIONI DI CARICO	5
4.1	Carichi permanenti.....	5
4.1.1	<i>Carichi permanenti strutturali</i>	5
4.1.2	<i>Carichi permanenti non strutturali</i>	5
4.2	Carichi accidentali.....	6
4.2.1	<i>Azione del ghiaccio</i>	6
4.2.2	<i>Azione del manutentore</i>	6
4.2.3	<i>Azioni indotte dal vento</i>	6
4.3	Azione sismica.....	9
4.4	Combinazioni delle azioni	10
5	VERIFICA DELLA STRUTTURA	12
5.1	Verifica dei profili	12
5.1.1	<i>Verifica profilo Ø355.6x6.3 mm</i>	12
5.1.2	<i>Verifica profilo Ø273x5 mm</i>	13
5.1.3	<i>Verifica profilo Ø168.3x4 mm</i>	14
5.2	Verifica dei collegamenti.....	15
5.3	Sollecitazioni alla base della struttura.....	19
6	CONCLUSIONI.....	19
7	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE – ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO	20
7.1	Modellazione dei materiali	22
7.2	Modellazione delle sezioni.....	24
7.3	Modellazione struttura: nodi.....	26
7.4	Modellazione della struttura: elementi trave	28

7.5	Modellazione delle azioni.....	29
7.6	Schematizzazione dei casi di carico	31
7.7	Definizione delle combinazioni.....	33
7.8	Azione sismica.....	34
7.9	Risultati analisi sismiche.....	36
7.10	Risultati nodali	38
7.11	Risultati elementi tipo trave	39

1 RELAZIONE DI CALCOLO ED ELABORATI GRAFICI PER PALO FLANGIATO LEGGERO H=15 M

La presente relazione di calcolo riguarda il progetto di un palo flangiato per supporto antenne radio.

Il palo di progetto è composto da tre tronchi caratterizzati dalla seguente geometria:

Tronco	Diam. (mm)	Sp. (mm)	Lungh. (mm)
1	355.6	6.3	5000
2	273	5	5000
3	168.3	4	5000

I tronchi sono collegati tra loro mediante giunti flangiati; al palo sono collegate la scala di manutenzione tipo "Soll" e la rastrelliera per la risalita cavi.

La configurazione di carico legata alla presenza degli impianti di ricetrasmisione sul palo, relativa allo stato di progetto, è la seguente:

- n°2 antenne Yagi (K 531741) a quota 15.00 m;
- n°2 antenne Yagi (K 520721) a quota 15.00 m.

Il calcolo delle sollecitazioni nella struttura e le verifiche sugli elementi che la compongono sono stati eseguiti con il metodo di calcolo agli *Stati Limite*, con riferimento alla normativa D.M. 14/01/2008 e ai metodi della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni e impiegando il programma di calcolo agli elementi finiti *PRO.SAP della 2.S.I S.r.l.*

La struttura è stata modellata come una mensola incastrata alla base.

2 NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" – G.U. n°29 del 04/02/2008;
- UNI EN 1193-1-5:2007 Eurocodice 3 – Progettazione strutture in acciaio – Parte 1- 5;
- Giovanni Quattordio, "Sostegni tubolari in acciaio", Pitagora Editrice Bologna, 1997.

3 MATERIALI

ACCIAIO PER CARPENTERIA - *Lamiere fusto, flange, tirafondi*

S355JR

Modulo di elasticità $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$

Tensione (carico unitario) di rottura a trazione $f_t \geq 510 \text{ N/mm}^2$

Tensione (carico unitario) di snervamento $f_y \geq 355 \text{ N/mm}^2$

BULLONI

classe 8.8 UNI EN ISO 898-1:2001

Tensione di snervamento $f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$

Tensione di rottura $f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$

CALCESTRUZZO

Fondazione classe C20/25

4 CONDIZIONI DI CARICO

4.1 Carichi permanenti

4.1.1 Carichi permanenti strutturali

I carichi permanenti strutturali sono desunti in maniera automatica dal programma di calcolo, in base alla definizione degli elementi costituenti la struttura.

4.1.2 Carichi permanenti non strutturali

I carichi permanenti non strutturali considerati nel calcolo si riferiscono a:

- scala di risalita (15 daN/m);
- cavi e relativa rastrelliera (25 daN/m);
- antenne e carpenteria per la loro posa in opera.

4.2 Carichi accidentali

4.2.1 Azione del ghiaccio

E' stato considerato come carico accidentale un manicotto di ghiaccio dello spessore di 10 mm, uniformemente distribuito sulla struttura ed accessori, avente un peso specifico di 900 daN/cm². La presenza del ghiaccio sulla struttura si traduce anche in un incremento della superficie esposta al vento degli apparati e della struttura.

4.2.2 Azione del manutentore

Si è considerato un sovraccarico verticale pari a 150 daN/m² posizionato sulla sommità della palo, applicato con eccentricità pari a 40 cm, corrispondente al peso di un operatore trasmesso dal dispositivo anticaduta DPI.

4.2.3 Azioni indotte dal vento

4.2.3.1 Azioni statiche indotte dal vento

- *Descrizione del sito in base al D. M. 14/01/2008:*

Zona geografica 1

Quota altimetrica 1400 m s.l.m.m. > 1000 m

Velocità di riferimento v_b 29 m/s

Coeff. di topografia C_t 1,00

Cat. Esposizione IV

k_r 0,22 m

z_0 0,30 m

z_{min} 8,00 m

- *Coefficiente di forma c_p per gli elementi cilindrici:*

Per corpi cilindrici a sezione circolare di diametro d ed altezza h , ambedue espresse in metri, i coefficienti c_p sono i seguenti:

$$c_p = \begin{cases} 1,20 & \text{se } d\sqrt{q} \leq 2,20 \\ (1,783 - 0,263) \cdot d\sqrt{q} & \text{se } 2,20 < d\sqrt{q} < 4,20 \\ 0,70 & \text{se } 4,20 \geq d\sqrt{q} \end{cases}$$

dove $q = q_b \cdot c_e$

Altri coefficienti di forma c_p :

I coefficienti di forma per gli altri elementi soggetti all'azione del vento sono riportati di seguito:

Apparato c_p	
Yagi	1,00
Scala/cavi	1,20

4.2.3.2 Effetti dinamici del vento

A tutte le quote del palo la pressione dinamica risulta inferiore a quella statica; pertanto la pressione statica viene presa come riferimento per il calcolo delle azioni di progetto.

4.2.3.3 Calcolo della spinta del vento sulle strutture

Spinta sugli elementi strutturali e non strutturali

Di seguito si riporta la tabella in cui vengono calcolate le spinte dovute all'azione del vento sulla struttura e sul manicotto di ghiaccio, considerate distribuite su tutta la sua lunghezza dei profili tubolari.

Fusto	z [m]	c_e	$c_e * c_d * q_{ref}$	\varnothing [m]	$dV(c_e * q_{ref})$	c_p	P [daN/m ²]	F [daN/cm]	F_{gh} [daN/cm]
TRONCO 1	2,5	1,634	858,983	0,3556	10,422	0,700	60,129	0,2138	0,0120
TRONCO 2	7,5	1,634	858,983	0,2730	8,001	0,700	60,129	0,1642	0,0120
TRONCO 3	12,5	1,937	1018,083	0,1683	5,370	0,700	71,266	0,1199	0,0143

Cavi	z [m]	\varnothing [m]	c_p	P [daN/m ²]	F [daN/cm]	F_{gh} [daN/cm]
TRONCO 1	2,5	0,075	1,200	103,078	0,0773	0,0206
TRONCO 2	7,5	0,075	1,200	103,078	0,0773	0,0206
TRONCO 3	12,5	0,075	1,200	122,170	0,0916	0,0244

Scala	z [m]	\varnothing [m]	c_p	P [daN/m ²]	F [daN/cm]	F_{gh} [daN/cm]
TRONCO 1	2,5	0,075	1,200	103,078	0,0773	0,0206
TRONCO 2	7,5	0,075	1,200	103,078	0,0773	0,0206
TRONCO 3	12,5	0,075	1,200	122,170	0,0916	0,0244

Calcolo della spinta del vento sugli impianti

Per la determinazione della spinta sugli apparati si è calcolato il numero di elementi presenti sulla struttura e ci si è riferiti al calcolo del numero di superfici equivalenti presenti nelle specifiche della committenza. Le azioni statiche equivalenti sono state poste in corrispondenza del baricentro delle antenne e delle parabole come in sito.

A titolo di esempio si riporta una tabella in cui sono indicate le azioni indotte dal vento sulle apparecchiature:

Apparecchiatura	z [m]	c_e	$c_e * q_{ref}$	A [m ²]	A _{gh} [m ²]	c_p	P [N/m ²]	F [daN]	F _{TOT} [daN]	F _{gh} [daN]	F _{ghTOT} [daN]
Ant_h 2000	15	2,066	1085,99	0,600	0,046	1,00	1085,99	65,15	130,31	5,04	10,08
Ant_h 2000	15	2,066	1085,99	0,600	0,046	1,00	1085,99	65,15	130,31	5,04	10,08

Le forze indicate si riferiscono al vento con direzione perpendicolare alla maggiore superficie esposta dell'impianto considerato.

4.3 Azione sismica

La valutazione sismica si effettua in conformità al D.M. 14/01/2008.

Dati caratteristici della struttura di progetto:

Vita nominale della struttura: 100 anni;

Classe d'uso: IV- costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche rilevanti;

Coefficiente d'uso della costruzione C_u : 2;

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 200 anni

Dati caratteristici del sito:

Stato limite SLV – salvaguardia della vita;

$A_g/g = 0.243$

$F_0 = 2.430$

$T^*_C = 0.300$ s

Categoria del suolo: D

Categoria Topografica: T1

$S = 1.515$

$T_B = 0.228$ s

$T_C = 0.685$ s

$T_D = 2.572$ s

Dati caratteristici della struttura:

$q = 1.20$ fattore di struttura

Il periodo proprio della struttura è di $0.0.381$ s < T_D , pertanto è ammessa l'analisi statica equivalente.

Le forze da applicare alle varie quote sono date dalla seguente relazione:

$$F_i = F_h \cdot (z_i \cdot W_i) / \sum (z_j \cdot W_j)$$

dove:

z_i = quota dell'elemento considerato;

W_i = peso dell'elemento;

F_h = taglio totale alla base della struttura

Come si può osservare dagli elaborati di calcolo allegati, le sollecitazioni nella struttura dovute all'azione del vento sono sempre maggiori rispetto a quelle dovute all'azione del sisma.

4.4 Combinazioni delle azioni

Le azioni agenti sulla struttura sono stati schematizzati facendo riferimento ai seguenti casi di carico:

G₁ Peso proprio della struttura;

G₂ Peso proprio degli impianti di ricetrasmisione, ballatoio, cavi e scala;

Q_{k1} Azione del vento sulla struttura;

Q_{k2} Azione del vento sul manicotto di ghiaccio;

Q_{k3} Peso del ghiaccio sulla struttura;

Q_{k4} Azione dovuta alla presenza di manutentori;

E Azione Sismica.

L'azione del vento è stata considerata secondo due casi:

- Azione del vento calcolata secondo la normativa sopra indicata;
- Azione del vento calcolata secondo la normativa citata, in presenza di manicotto di ghiaccio.

Le verifiche della struttura sono eseguite in riferimento all'Approccio 2, perciò i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche allo SLU sono quelli del gruppo A1 STR riportati nella seguente tabella, in riferimento alla TAB 2.6.I – Cap. 2.6.1 del D.M. 14/01/2008.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	(A1) STR
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1,0
	Sfavorevole		1,3
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

I coefficienti di combinazione impiegati per i casi di carico indicati in precedenza sono riportati nella tabella successiva, in riferimento alla TAB 2.5.I – Cap. 2.5.3 del 14/01/2008:

Categoria / Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Vento	0,6	0,2	0,0
Ghiaccio/neve (quota <1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Ghiaccio/neve (quota >1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Manutentore	1,0	0,9	0,8

Di seguito si riportano le principali combinazioni adottate nel calcolo:

Combinazioni Fondamentali STR, con vento da normativa:

$$1,3 \times G + 1,5 \times G + 1,5 \times Q_k + 1,5 \times 0,6 \times Q_k + 1,5 \times 0,7 \times Q_k + 1,5 \times 1,0 \times Q_k$$

$$1,0 \times G + 1,0 \times G + 1,5 \times Q_k + 1,5 \times 0,6 \times Q_k + 1,5 \times 0,7 \times Q_k + 1,5 \times 1,0 \times Q_k$$

$$1,3 \times G + 1,5 \times G + 1,5 \times Q_k + 1,5 \times 0,0 \times Q_k + 1,5 \times 0,0 \times Q_k + 1,5 \times 1,0 \times Q_k$$

$$1,0 \times G + 1,0 \times G + 1,5 \times Q_k + 1,5 \times 0,0 \times Q_k + 1,5 \times 0,0 \times Q_k + 1,5 \times 1,0 \times Q_k$$

Combinazioni calcolo Azione Sismica:

$$1,0 \times G + 1,0 \times G + 1,0 \times E$$

5 VERIFICA DELLA STRUTTURA

5.1 Verifica dei profili

5.1.1 Verifica profilo Ø355.6x6.3 mm

Caratteristiche geometriche

d [mm]	355,6
t [mm]	6,3
A [cm ²]	69,1
A _{eff} [cm ²]	69,1
J [cm ⁴]	10547,2
W _{el} [cm ³]	593,2
W _{pl} [cm ³]	768,7
ρ [cm]	12,4
γ [kg/m]	54,3

Classificazione del profilo

f _{yk} [daN/cm ²]	3550
d/t [-]	56
ε [-]	0,81
Classe	3

Verifica a taglio

A _v [cm ²]	44,01
V _{Ed} [daN]	1290,00
V _{c,Rd} [daN]	85910,76
V _{Ed} /V _{c,Rd}	0,02 <1,00
50% V _{c,Rd} [daN]	42955,38 > V _{Ed}
Taglio trascurabile per la verifica a pressoflessione	

Verifica a pressoflessione

N _{Ed} /(A f _{yk} /γ _{M0})	0,01
M _{Ed} /(W _{pl} f _{yk} /γ _{M0})	0,63
Verifica	0,64

Sollecitazioni

N [daN]	2312
M [daNcm]	1272000
M [daNcm]	1290

Verifica a instabilità presso-flessionale (EC3)

Curva	curva c
α [-]	0,490
β _A [-]	1,000
L [cm]	1500,0
Vincolo	incastro
β [-]	2,000
L ₀ [cm]	3000
N _{crit} [daN]	24289
λ _s [-]	3,179
Φ [-]	6,282
X [-]	0,085
β M [-]	1,795
μ [-]	-1,303
k [-]	1,144
Verifica	0,84 <1,00

VERIFICATO

5.1.2 Verifica profilo Ø273x5 mmCaratteristiche geometriche

d[mm]	273,0
t [mm]	5,0
A [cm ²]	42,1
A _{eff} [cm ²]	42,1
J [cm ⁴]	3780,8
W _{el} [cm ³]	277,0
W _{pl} [cm ³]	359,2
ρ [cm]	9,5
γ [kg/m]	33,0

Classificazione del profilo

f _{yk} [daN/cm ²]	3550
d/t [-]	55
ε [-]	0,81
Classe	3

Verifica a taglio

A _v [cm ²]	26,80
V _{Ed} [daN]	975,00
V _{c,Rd} [daN]	52313,43
V _{Ed} /V _{c,Rd}	0,02 <1,00
50% V _{c,Rd} [daN]	26156,72 > Ved

Taglio trascurabile per la verifica a pressoflessione

Verifica a pressoflessione

N _{Ed} /(A _{f,yk} /γ _{M0})	0,01
M _{Ed} /(W _{f,yk} /γ _{M0})	0,75
Verifica	0,76

Sollecitazioni

N [daN]	1530
M [daNcm]	705800
M [daNcm]	975

Verifica a instabilità presso-flessionale (EC3)

Curva	curva c
α [-]	0,490
β _A [-]	1,000
L [cm]	1000
Vincolo	incastro
β [-]	2,000
L ₀ [cm]	2000
N _{crit} [daN]	19590
λ _s [-]	2,762
Φ [-]	4,942
X [-]	0,111
β _M [-]	1,791
μ [-]	-1,154
k [-]	1,107
Verifica	0,93 <1,00

VERIFICATO

5.1.3 Verifica profilo Ø168.3x4 mmCaratteristiche geometriche

d[mm]	168,3
t [mm]	4,0
A [cm ²]	20,6
A _{eff} [cm ²]	20,6
J [cm ⁴]	697,1
W _{el} [cm ³]	82,8
W _{pl} [cm ³]	108,00
ρ [cm]	5,81
γ [kg/m]	16,21

Classificazione del profilo

f _{yk} [daN/cm ²]	3550
d/t [-]	42,08
ε [-]	0,81
Classe	2

Sollecitazioni

N [daN]	920
M [daNcm]	288000
V [daN]	696

Verifica a pressoflessione

N _{p,rd} [daN]	69805
M _{p,rd} [daNcm]	365140
n	0,013
M _{n,rd} [daNcm]	365140
M _{Ed} /M _{n,rd}	0,79 <1,00 VERIFICATO

Verifica a taglio

A _v [cm ²]	13,14
V _{Ed} [daN]	696
V _{c,rd} [daN]	25657
V _{Ed} /V _{c,rd}	0,03 <1,00
50% V _{c,rd} [daN]	12828,503 > V _{Ed}
Taglio trascurabile per la verifica a pressoflessione	

Verifica a instabilità presso-flessionale (EC3)

Curva	curva c
α [-]	0,490
β _x [-]	1,000
L [cm]	500
Vincolo	incastro
β [-]	2
L ₀ [cm]	1000
N _{crit} [daN]	14448
λ _s [-]	2,252
Φ [-]	3,539
X [-]	0,160
β M [-]	1,778
μ [-]	-0,696
k [-]	1,055
Verifica	0,91 <1,00 VERIFICATO

5.2 Verifica dei collegamenti

Per la *verifica dei tirafondi* si considerano:

- la verifica a taglio/trazione della barra, eseguita facendo riferimento al punto 4.2.5 del D.M. 14/01/2008:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed} \sigma_{x,Ed} + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2 \quad \text{Con } \gamma_{M0} = 1.25$$

- la verifica a sfilamento, eseguita confrontando la massima sollecitazione di trazione sul tirafondo con la sollecitazione resistente valutata come somma tra la forza di aderenza del tirafondo e la forza di trazione della controflangia:

$$F_{a,tot} = F_{ad} + F_{ac}$$

$$F_{ad} = \pi D \cdot l_{ad} \cdot f_{bd}$$

$$F_{ac} = f_{cd} \cdot \left(Lc^2 - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right)$$

Con f_{bd} pari alla resistenza di aderenza acciaio-calcestruzzo, l_{ad} tratto bagnato del tirafondo, Lc larghezza della contro piastra e D diametro del tirafondo.

Le massime sollecitazioni sui tirafondi sono calcolate impiegando le seguenti formule:

$$F_{v,Ed} = T / n$$

$$F_{t,Ed} = \begin{cases} \text{per } n/2 \text{ pari} & 1,25 \frac{M}{d_v} \cdot \frac{1}{1 + 2 \sum_{i=2}^{\frac{n-4}{2}} \left(\text{sen} \frac{\pi}{n} \right)^2} \cdot 10^3 + \frac{N}{n} \\ \text{per } n/2 \text{ dispari} & 1,25 \frac{M}{d_v} \cdot \frac{1}{1 + 2 \sum_{i=1}^{\frac{n-4}{2}} \left(\text{sen} \frac{\pi}{n} \right)^2} \cdot 10^3 + \frac{N}{n} \end{cases}$$

Con i pari ($i= 2,4,6,8,\dots$)

Con i dispari ($i= 1,3,5,7,\dots$)

Dove N, M, T rappresentano rispettivamente sforzo normale, momento flettente e taglio alla base del palo in daN e daNcm, n è il numero di tirafondi, d_v è il diametro della circonferenza delle viti in mm.

La *verifica delle flange* viene eseguita in termini di spessore, considerando la presenza o meno degli irrigidimenti.

Nel caso di giunto irrigidito lo spessore minimo della flangia vale:

$$t \geq 1.1 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_f}{f_{yd}} \cdot \frac{d_e - d}{d_v} \cdot A}$$

In cui:

t è lo spessore minimo della flangia;

σ_f è la tensione dovuta a flessione sul tronco;

d_e è il diametro esterno delle flange;

d è il diametro esterno del tronco superiore o inferiore nel caso, rispettivamente, di verifica della flangia superiore o inferiore;

d_v è il diametro della circonferenza delle viti;

A è l'area della sezione del tronco superiore o inferiore nel caso, rispettivamente, di verifica della flangia superiore o inferiore;

α è un coefficiente funzione dell'angolo β , cioè dell'angolo tra due irrigidimenti consecutivi.

Nel caso di giunti non irrigiditi lo spessore minimo è dato dalla seguente formula:

$$t \geq 1.1 \cdot K_{fs} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_f}{f_{yd}} \cdot (d - s) \cdot s}$$

In cui:

$$K_{fs} = 0.45 + 0.12 \cdot \frac{D_{fori}}{D_{int}}$$

d è il diametro esterno del tronco superiore o inferiore nel caso, rispettivamente, di verifica della flangia superiore o inferiore;

s è lo spessore esterno del tronco superiore o inferiore nel caso, rispettivamente, di verifica della flangia superiore o inferiore.

Nelle tabelle seguenti tabelle si riportano le sollecitazioni alla base dei tronchi e le caratteristiche geometriche dei giunti:

TRONCO	Sollecitazioni			
	quota [m]	N [daN]	M [daNcm]	T [daN]
1	0,00	2400	1,27E+06	1290
2	5,00	1641	7,06E+05	975
3	10,00	977	2,88E+05	696

TRONCO	Tronco		Flangia		Fl. Superiore		Fl. Inferiore		Bulloni	
	\emptyset [mm]	sp. [mm]	D est [mm]	D fori [mm]	sp. [mm]	nerv. per bull.	sp. [mm]	nerv. per bull.	n° bulloni	ϕ bulloni [mm]
1	355,6	6,3	506	430	25	1 ogni 1	-	-	16	27
2	323,9	6,3	506	430	20	1 ogni 1	20	1 ogni 1	10	16
3	273	5	423	348	15	1 ogni 1	15	1 ogni 1	8	16

Verifica dei tirafondi

Caratteristiche

Ares [cmq]	4,59
Ft,Ed [daN]	9380
Fv,Ed [daN]	81
Lad [cm]	100
Lc [cm]	0

Verifica allo sfilamento

fcd [daN/cm ²]	117,6
fbd [daN/cm ²]	16,65
Fad [daN]	14123
Fac [daN]	0
Fatot [daN]	14123
FtEd/Ftot	66,4%

Verifica di resistenza

σ [daN/cm ²]	2043
τ [daN/cm ²]	18
σ_{id} [daN/cm ²]	2044
σ_{id}/f_{yd}	72,0%

Verifica dei bulloni

quota [m]	A res [cmq]	Ft,Ed [daN]	Fv,Ed [daN]	Ft,Rd [daN]	Fv,Rd [daN]	verifica 1	verifica 2
5	1,57	7338,57	97,50	9043,20	6028,80	0,81	0,60
10,00	1,57	4874,72	87,00	9043,20	6028,80	0,54	0,40

Verifica delle piastre

Superiori

quota [m]	D est [mm]	D fori [mm]	D int [mm]	kf -	β [rad]	δ -	α -	σ_f [daN/cm ²]	σ_f/f_{yd} [daN/cm ²]	sp. min [mm]	sp. flangia [mm]
0,00	506	430	355,60	0,60	0,39	1,12	0,08	2.141	0,75	13,5	< 25
5,00	506	430	323,90	0,61	0,63	1,48	0,13	1.442	0,51	14,7	< 20
10,00	423	348	273,00	0,60	0,79	1,82	0,17	1.040	0,37	11,7	< 15

Inferiori

quota [m]	D est [mm]	D fori [mm]	D int [mm]	kf -	β rad	δ -	α -	σ_f [daN/cm ²]	σ_f/f_{yd} [daN/cm ²]	sp. min [mm]	sp. flangia [mm]
5,00	506	430	355,60	0,60	0,63	1,80	0,17	1.190,14	0,42	14,4	< 20
10,00	423	348	323,90	0,58	0,79	2,76	0,22	588,25	0,21	10,0	< 15

Le condizioni di verifica del collegamento palo-fondazione risultano soddisfatte.

5.3 Sollecitazioni alla base della struttura

Nelle tabelle che seguono si riportano le sollecitazioni alla base del palo, per le verifiche del plinto di fondazione.

SOLLECITAZIONI MASSIME ALLA BASE DEL PALO IN COMBINAZIONE

Nmin [daN]	Nmax [daN]	M [daNcm]	T [daN]
2134	2289	1272000	1290

SOLLECITAZIONI ALLA BASE DEL PALO DISTINTE PER CASO DI CARICO (NON AMPLIFICATE)

CASO DI CARICO	N [daN]	M [daNcm]	T [daN]
PESO PROPRIO	518	0	0
PESO APPARECCHIATURE	720	0	0
PESO DEL GHIACCIO	297	0	0
VENTO	0	746000	756
VENTO SUL GHIACCIO	0	96110	105
MANUTENTORE	150	6000	0

6 CONCLUSIONI

Dalle verifiche condotte sugli elementi progettati, si conclude che la struttura porta antenne risulta verificata in termini di resistenza.

7 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE – ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO

Nel prosieguo si indicano tipo di analisi strutturale condotta (statico, dinamico, lineare o non lineare) e il metodo adottato per la risoluzione del problema strutturale nonché le metodologie seguite per la verifica o per il progetto-verifica delle sezioni. Si riportano le combinazioni di carico adottate e, nel caso di calcoli non lineari, i percorsi di carico seguiti; le configurazioni studiate per la struttura in esame *sono risultate effettivamente esaustive per la progettazione-verifica*.

La presente relazione di calcolo strutturale, in conformità al punto §10.1 del DM 14/01/08, è comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica. Segue inoltre le indicazioni fornite al §10.2 del DM stesso per quanto concerne analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo.

Parametri della struttura			
Classe d'uso	Vita V_n [anni]	Coeff. Uso	Periodo V_r [anni]
IV	100.0	2.0	200.0

Caratteristiche dei codici di calcolo : PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F}$ dove \mathbf{K} = matrice di rigidezza

\mathbf{u} = vettore spostamenti nodali

\mathbf{F} = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo **TRUSS** (biella-D2)
- Elemento tipo **BEAM** (trave-D2)
- Elemento tipo **MEMBRANE** (membrana-D3)
- Elemento tipo **PLATE** (piastra-guscio-D3)
- Elemento tipo **BOUNDARY** (molla)
- Elemento tipo **STIFFNESS** (matrice di rigidezza)
- Elemento tipo **BRICK** (elemento solido)
- Elemento tipo **SOLAIO** (macro elemento composto da più membrane)

Modello strutturale realizzato con:	
nodi	4
elementi D2 (per aste, travi, pilastri...)	3
elementi D3 (per pareti, platee, gusci...)	0
elementi solaio	0
elementi solidi	0
Dimensione del modello strutturale [cm]:	
X min =	0.00
Xmax =	0.00
Ymin =	0.00
Ymax =	0.00
Zmin =	0.00
Zmax =	1500.00
Strutture verticali:	
Elementi di tipo asta	NO
Pilastri	SI
Pareti	NO
Setti (a comportamento membranale)	NO
Strutture non verticali:	
Elementi di tipo asta	NO
Travi	NO
Gusci	NO
Membrane	NO
Orizzontamenti:	
Solai con la proprietà piano rigido	NO
Solai senza la proprietà piano rigido	NO
Tipo di vincoli:	
Nodi vincolati rigidamente	SI
Nodi vincolati elasticamente	NO
Nodi con isolatori sismici	NO
Fondazioni puntuali (plinti/plinti su palo)	NO
Fondazioni di tipo trave	NO
Fondazioni di tipo platea	NO
Fondazioni con elementi solidi	NO

7.1 Modellazione dei materiali

LEGENDA TABELLA DATI MATERIALI

Il programma consente l'uso di materiali diversi. Sono previsti i seguenti tipi di materiale:

1 materiale tipo cemento armato

2 materiale tipo acciaio

3 materiale tipo muratura

4 materiale tipo legno

5 materiale tipo generico

I materiali utilizzati nella modellazione sono individuati da una sigla identificativa ed un codice numerico (gli elementi strutturali richiamano quest'ultimo nella propria descrizione).

Per ogni materiale vengono riportati in tabella i seguenti dati:

<i>Young</i> modulo di elasticità normale

<i>Poisson</i> coefficiente di contrazione trasversale
--

<i>G</i> modulo di elasticità tangenziale

<i>Gamma</i> peso specifico

<i>Alfa</i> coefficiente di dilatazione termica

I dati soprariportati vengono utilizzati per la modellazione dello schema statico e per la determinazione dei carichi inerziali e termici. In relazione al tipo di materiale vengono riportati inoltre:

1 <i>cemento armato</i>

Rck resistenza caratteristica cubica

Fctm resistenza media a trazione semplice
--

2 <i>acciaio</i>

Ft tensione di rottura a trazione
--

Fy tensione di snervamento

Fd resistenza di calcolo

Fdt resistenza di calcolo per spess. $t > 40$ mm

Sadm tensione ammissibile

Sadmt tensione ammissibile per spess. $t > 40$ mm
--

3 <i>muratura</i>

Resist. Fk resistenza caratteristica a compressione
--

Resist. Fvko resistenza caratteristica a taglio
--

4 legno

Resist. fc0k Resistenza caratteristica (tensione amm. per REGLES) per compressione

Resist. ft0k Resistenza caratteristica (tensione amm. per REGLES) per trazione

Resist. fmk Resistenza caratteristica (tensione amm. per REGLES) per flessione

Resist. fvk Resistenza caratteristica (tensione amm. per REGLES) per taglio

Modulo E0,05 Modulo elastico parallelo caratteristico

Lamellare lamellare o massiccio

TABELLA DATI MATERIALI

Id	Tipo / Note		Young	Poisson	G	Gamma	Alfa
		daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm3	
12	acciaio Fe510 - S355		2.100e+06	0.30	8.077e+05	7.85e-03	1.00e-05
	ft	5100.0					
	fy	3550.0					
	fd	3550.0					
	fdt	3150.0					
	sadm	2400.0					
	sadmt	2100.0					

7.2 Modellazione delle sezioni

LEGENDA TABELLA DATI SEZIONI

Il programma consente l'uso di sezioni diverse. Sono previsti i seguenti tipi di sezione:

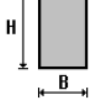
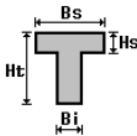
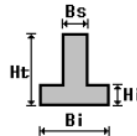
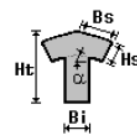
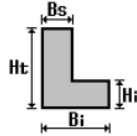
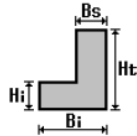
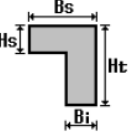
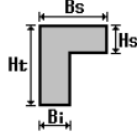
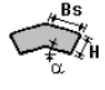
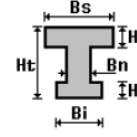
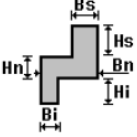
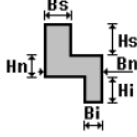
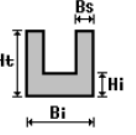
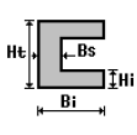
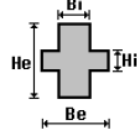
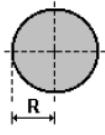
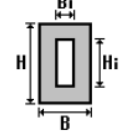
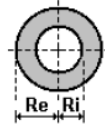
- | |
|-----------------------------------|
| 1 sezione di tipo generico |
| 2 profilati semplici |
| 3 profilati accoppiati e speciali |

Le sezioni utilizzate nella modellazione sono individuate da una sigla identificativa ed un codice numerico (gli elementi strutturali richiamano quest'ultimo nella propria descrizione).

Per ogni sezione vengono riportati in tabella i seguenti dati:

Area area della sezione
A V2 area della sezione/fattore di taglio (per il taglio in direzione 2)
A V3 area della sezione/fattore di taglio (per il taglio in direzione 3)
Jt fattore torsionale di rigidità
J2-2 momento d'inerzia della sezione riferito all'asse 2
J3-3 momento d'inerzia della sezione riferito all'asse 3
W2-2 modulo di resistenza della sezione riferito all'asse 2
W3-3 modulo di resistenza della sezione riferito all'asse 3
Wp2-2 modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'asse 2
Wp3-3 modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'asse 3

I dati soprariportati vengono utilizzati per la determinazione dei carichi inerziali e per la definizione delle rigidità degli elementi strutturali; qualora il valore di Area V2 (e/o Area V3) sia nullo la deformabilità per taglio V2 (e/o V3) è trascurata. La valutazione delle caratteristiche inerziali delle sezioni è condotta nel riferimento 2-3 dell'elemento.

 rettangolare	 a T	 a T rovescia	 a T di colmo	 a L	 a L specchiata
 a L specchiata rovescia	 a L rovescia	 a L di colmo	 a doppio T	 a quattro specchiata	 a quattro
 a U	 a C	 a croce	 circolare	 rettangolare cava	 circolare cava

Per quanto concerne i profilati semplici ed accoppiati l'asse 2 del riferimento coincide con l'asse x riportato nei più diffusi profilati.

Per quanto concerne le sezioni di tipo generico (tipo 1.):

- i valori dimensionali con prefisso B sono riferiti all'asse 2
- i valori dimensionali con prefisso H sono riferiti all'asse 3

Id	Tipo	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
		cm2	cm2	cm2	cm4	cm4	cm4	cm3	cm3	cm3	cm3
1	Circolare cava: re=17.78 ri=17.15	69.13	0.0	0.0	2.109e+04	1.055e+04	1.055e+04	593.21	593.21	768.75	768.75
2	Circolare cava: re=13.65 ri=13.15	42.10	0.0	0.0	7561.63	3780.81	3780.81	276.98	276.98	359.16	359.16
3	Circolare cava: re=8.41 ri=8.02	20.65	0.0	0.0	1394.18	697.09	697.09	82.84	82.84	108.00	108.00

7.3 Modellazione struttura: nodi

LEGENDA TABELLA DATI NODI

Il programma utilizza per la modellazione nodi strutturali.

Ogni nodo è individuato dalle coordinate cartesiane nel sistema di riferimento globale (X Y Z).

Ad ogni nodo è eventualmente associato un codice di vincolamento rigido, un codice di fondazione speciale, ed un set di sei molle (tre per le traslazioni, tre per le rotazioni). Le tabelle sottoriportate riflettono le succitate possibilità.

In particolare per ogni nodo viene indicato in tabella:

Nodo numero del nodo.
X valore della coordinata X
Y valore della coordinata Y
Z valore della coordinata Z

Per i nodi ai quali sia associato un codice di vincolamento rigido, un codice di fondazione speciale o un set di molle viene indicato in tabella:

Nodo numero del nodo.
X valore della coordinata X
Y valore della coordinata Y
Z valore della coordinata Z
Note eventuale codice di vincolo (es. v=110010 sei valori relativi ai sei gradi di libertà previsti per il nodo TxTyTzRxRyRz, il valore 1 indica che lo spostamento o rotazione relativo è impedito, il valore 0 indica che lo spostamento o rotazione relativo è libero).
Note (FS = 1, 2,...) eventuale codice del tipo di fondazione speciale (1, 2,... fanno riferimento alle tipologie: plinto, palo, plinto su pali,...) che è collegato al nodo.
(ISO = "id SIGLA") indice e sigla identificativa dell' eventuale isolatore sismico assegnato al nodo
Rig. TX valore della rigidezza dei vincoli elastici eventualmente applicati al nodo, nello specifico TX (idem per TY, TZ, RX, RY, RZ).

Per strutture sismicamente isolate viene inoltre inserita la tabella delle caratteristiche per gli isolatori utilizzati; le caratteristiche sono indicate in conformità al cap. 7.10 del D.M. 14/01/08.

TABELLA DATI NODI

Nodo	X cm	Y cm	Z cm	Nodo	X cm	Y cm	Z cm	Nodo	X cm	Y cm	Z cm
2	0.0	0.0	500.0	3	0.0	0.0	1000.0	4	0.0	0.0	1500.0
Nodo	X cm	Y cm	Z cm	Note	Rig. TX daN/cm	Rig. TY daN/cm	Rig. TZ daN/cm	Rig. RX daN cm/rad	Rig. RY daN cm/rad	Rig. RZ daN cm/rad	
1	0.0	0.0	0.0	v=111111							

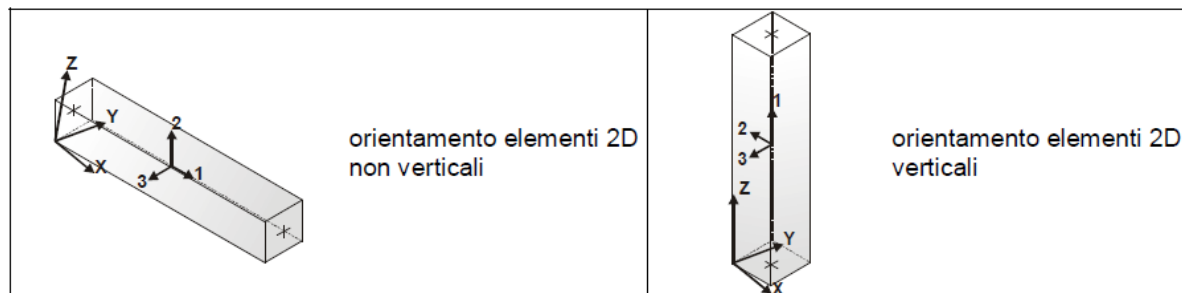
7.4 Modellazione della struttura: elementi trave

TABELLA DATI TRAVI

Il programma utilizza per la modellazione elementi a due nodi denominati in generale travi.

Ogni elemento trave è individuato dal nodo iniziale e dal nodo finale.

Ogni elemento è caratterizzato da un insieme di proprietà riportate in tabella che ne completano la modellazione.



In particolare per ogni elemento viene indicato in tabella:

Elem. numero dell'elemento
Note codice di comportamento: trave, trave di fondazione, pilastro, asta, asta tesa, asta compressa
Nodo I (J) numero del nodo iniziale (finale)
Mat. codice del materiale assegnato all'elemento
Sez. codice della sezione assegnata all'elemento
Rotaz. valore della rotazione dell'elemento, attorno al proprio asse, nel caso in cui l'orientamento di default non sia adottabile; l'orientamento di default prevede per gli elementi non verticali l'asse 2 contenuto nel piano verticale e l'asse 3 orizzontale, per gli elementi verticali l'asse 2 diretto secondo X negativo e l'asse 3 diretto secondo Y negativo
Svincolo I (J) codici di svincolo per le azioni interne; i primi sei codici si riferiscono al nodo iniziale, i restanti sei al nodo finale (il valore 1 indica che la relativa azione interna non è attiva)
Wink V costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione della trave su suolo elastico
Wink O costante di sottofondo (coefficiente di Winkler) per la modellazione del suolo elastico orizzontale

Elem.	Note	Nodo I	Nodo J	Mat.	Sez.	Rotaz. gradi	Svincolo I	Svincolo J	Wink V daN/cm3	Wink O daN/cm3
1	Pilas.	1	2	12	1					
2	Pilas.	2	3	12	2					
3	Pilas.	3	4	12	3					

7.5 Modellazione delle azioni

LEGENDA TABELLA DATI AZIONI

Il programma consente l'uso di diverse tipologie di carico (azioni). Le azioni utilizzate nella modellazione sono individuate da una sigla identificativa ed un codice numerico (gli elementi strutturali richiamano quest'ultimo nella propria descrizione). Per ogni azione applicata alla struttura viene di riportato il codice, il tipo e la sigla identificativa. Le tabelle successive dettagliano i valori caratteristici di ogni azione in relazione al tipo. Le tabelle riportano i seguenti dati in relazione al tipo:

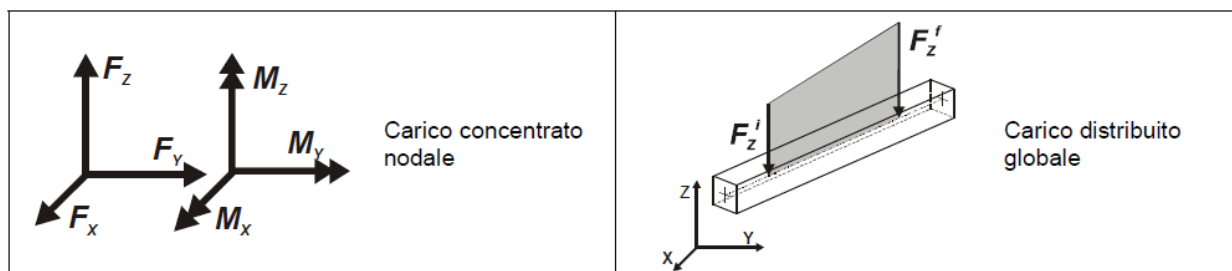
1 carico concentrato nodale

6 dati (forza F_x , F_y , F_z , momento M_x , M_y , M_z)

3 carico distribuito globale su elemento tipo trave

7 dati ($f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z, \text{ascissa di inizio carico}$)

7 dati ($f_x, f_y, f_z, m_x, m_y, m_z, \text{ascissa di fine carico}$)



Tipo carico concentrato nodale

Id	Tipo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		daN	daN	daN	daN cm	daN cm	daN cm
4	PP Ant 1	0.0	0.0	-60.00	0.0	0.0	0.0
5	PP Ant 2	0.0	0.0	-60.00	0.0	0.0	0.0
6	V Ant X 1	130.32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	V Ant X 2	130.32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	Manutentore	0.0	0.0	-150.00	0.0	6000.00	0.0
17	PP Ant GH 1	0.0	0.0	-15.00	0.0	0.0	0.0
18	PP Ant GH 2	0.0	0.0	-15.00	0.0	0.0	0.0
19	V Ant GH X 1	10.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	V Ant GH X 2	10.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tipo carico distribuito globale su trave

Id	Tipo	Pos.	fx	fy	fz	mx	my	mz
		cm	daN/cm	daN/cm	daN/cm	daN	daN	daN
1	V X 1	0.0	0.37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	V X 2	0.0	0.32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	V X 3	0.0	0.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	GH_T1	0.0	0.0	0.0	-0.10	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	-0.10	0.0	0.0	0.0
9	GH_T2	0.0	0.0	0.0	-0.08	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	-0.08	0.0	0.0	0.0
10	GH_T3	0.0	0.0	0.0	-0.05	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	-0.05	0.0	0.0	0.0
11	PP_SCALA_CAVI	0.0	0.0	0.0	-0.40	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	-0.40	0.0	0.0	0.0
12	GH_SCALA_CAVI	0.0	0.0	0.0	-0.10	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	-0.10	0.0	0.0	0.0
14	V_GH_X_1	0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	V GH X 2	0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	V GH X 3	0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

7.6 Schematizzazione dei casi di carico

LEGENDA TABELLA CASI DI CARICO

Il programma consente l'applicazione di diverse tipologie di casi di carico.

Sono previsti i seguenti 11 tipi di casi di carico:

N°	Sigla	Tipo	Descrizione
1	Ggk	A	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	NA	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	NA	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	A	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	A	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	SA	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	NA	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	SA	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	SA	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Pk	NA	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

Sono di tipo automatico A (ossia non prevedono introduzione dati da parte dell'utente) i seguenti casi di carico: 1- G_{gk} ; 4- G_{sk} ; 5- Q_{sk} ; 6- Q_{nk} .

Sono di tipo semi-automatico SA (ossia prevedono una minima introduzione dati da parte dell'utente) i seguenti casi di carico:

7- Q_{tk} , in quanto richiede solo il valore della variazione termica;

9- E_{sk} e 10- E_{dk} , in quanto richiedono il valore dell'angolo di ingresso del sisma e l'individuazione dei casi di carico partecipanti alla definizione delle masse.

Sono di tipo non automatico NA ossia prevedono la diretta applicazione di carichi generici agli elementi strutturali (si veda il precedente punto Modellazione delle Azioni) i restanti casi di carico.

Nella tabella successiva vengono riportati i casi di carico agenti sulla struttura, con l'indicazione dei dati relativi al caso di carico stesso:

Numero Tipo e Sigla identificativa, Valore di riferimento del caso di carico (se previsto).

In successione, per i casi di carico non automatici, viene riportato l'elenco di nodi ed elementi direttamente caricati con la sigla identificativa del carico.

Per i casi di carico di tipo sismico ($9-E_{sk}$ e $10-E_{dk}$), viene riportata la tabella di definizione delle masse: per ogni caso di carico partecipante alla definizione delle masse viene indicata la relativa aliquota (partecipazione) considerata. Si precisa che per i caso di carico $5-Q_{sk}$ e $6-Q_{nk}$ la partecipazione è prevista localmente per ogni elemento solaio o copertura presente nel modello (si confronti il valore S_{ksol} nel capitolo relativo agli elementi solaio) e pertanto la loro partecipazione è di norma pari a uno.

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	App_scale_cavi	Nodo: 4 Azione : PP_Ant_1 Nodo: 4 Azione : PP_Ant_2 D2: 1 Azione : PP_SCALA_CAVI D2: 2 Azione : PP_SCALA_CAVI D2: 3 Azione : PP_SCALA_CAVI
3	Qk	Ghiaccio	Nodo: 4 Azione : PP_Ant_GH_1 Nodo: 4 Azione : PP_Ant_GH_2 D2: 1 Azione : GH_SCALA_CAVI D2: 1 Azione : GH_T1 D2: 2 Azione : GH_SCALA_CAVI D2: 2 Azione : GH_T2 D2: 3 Azione : GH_SCALA_CAVI D2: 3 Azione : GH_T3
4	Qvk	Vento X	Nodo: 4 Azione : V_Ant_X_1 Nodo: 4 Azione : V_Ant_X_2 D2: 1 Azione : V_X_1 D2: 2 Azione : V_X_2

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			D2: 3 Azione : V_X_3
5	Qvk	Vento_GH_X	Nodo: 4 Azione : V_Ant_GH_X_1 Nodo: 4 Azione : V_Ant_GH_X_2 D2: 1 Azione : V_GH_X_1 D2: 2 Azione : V_GH_X_2 D2: 3 Azione : V_GH_X_3
6	Qk	Manutanzione	Nodo: 4 Azione : Manutentore
8	Esk	Sisma 0	partecipazione:1.00 per 1 CDC=Ggk (peso proprio della struttura) partecipazione:1.00 per 2 App_scale_cavi partecipazione:1.00 per 3 Ghiaccio partecipazione:1.00 per 6 Manutanzione
9	Esk	Sisma 90	come precedente CDC sismico

7.7 Definizione delle combinazioni

LEGENDA TABELLA COMBINAZIONI DI CARICO

Il programma combina i diversi tipi di casi di carico (CDC) secondo le regole previste dalla normativa vigente.

Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

La prima tabella delle combinazioni riportata di seguito comprende le seguenti informazioni: *Numero, Tipo, Sigla identificativa*. Una seconda tabella riporta il *peso nella combinazione*, assunto per ogni caso di carico.

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	V_GH_max
2	SLU	V_GH_min
3	SLU	V_max
4	SLU	V_min
6	SLU	SLV_sim_1
7	SLU	SLV_sim_2

Cmb	CDC 1/15...	CDC 2/16...	CDC 3/17...	CDC 4/18...	CDC 5/19...	CDC 6/20...	CDC 7/21...	CDC 8/22...	CDC 9/23...	CDC 10/24...	CDC 11/25...	CDC 12/26...	CDC 13/27...	CDC 14/28...
1	1.30	1.50	1.05	1.50	1.50	1.50	0.0	0.0	0.0					
2	1.00	1.50	1.05	1.50	1.50	1.50	0.0	0.0	0.0					
3	1.30	1.50	0.0	1.50	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0					
4	1.00	1.50	0.0	1.50	0.0	1.50	0.0	0.0	0.0					
6	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.30					
7	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.30	1.00					

7.8 Azione sismica

VALUTAZIONE DELL' AZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell' allegato alle NTC (rispettivamente media pesata e interpolazione).

L' azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Parametri della struttura					
Classe d'uso	Vita V_n [anni]	Coeff. Uso	Periodo V_r [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
IV	100.0	2.0	200.0	D	T1

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali riportati in

tabella:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente $S = S_s * S_t$ (3.2.5)

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale

F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima verticale, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale

T_b è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante.

Td è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza
			Km
Loc.	10.214	45.544	
12053	10.210	45.540	0.541
12054	10.281	45.542	5.205
11832	10.279	45.592	7.330
11831	10.207	45.590	5.127

SL	Pver	Tr	ag	Fo	T*c
		Anni	g		sec
SLO	81.0	120.0	0.084	2.420	0.260
SLD	63.0	201.0	0.106	2.410	0.270
SLV	10.0	1898.0	0.243	2.430	0.300
SLC	5.0	2475.0	0.267	2.420	0.300

SL	ag	S	Fo	Fv	Tb	Tc	Td
	g				sec	sec	sec
SLO	0.084	1.800	2.420	0.945	0.212	0.637	1.935
SLD	0.106	1.800	2.410	1.057	0.217	0.650	2.022
SLV	0.243	1.515	2.430	1.617	0.228	0.685	2.572
SLC	0.267	1.432	2.420	1.687	0.228	0.685	2.667

7.9 Risultati analisi sismiche

LEGENDA TABELLA ANALISI SISMICHE

Il programma consente l'analisi di diverse configurazioni sismiche.

Sono previsti, infatti, i seguenti casi di carico:

9. Esk caso di carico sismico con analisi statica equivalente

10. Edk caso di carico sismico con analisi dinamica

Ciascun caso di carico è caratterizzato da un angolo di ingresso e da una configurazione di masse determinante la forza sismica complessiva (si rimanda al capitolo relativo ai casi di carico per chiarimenti inerenti questo aspetto).

Nella colonna Note, in funzione della norma in uso sono riportati i parametri fondamentali che caratterizzano l'azione sismica: in particolare possono essere presenti i seguenti valori:

Angolo di ingresso	Angolo di ingresso dell'azione sismica orizzontale
Fattore di importanza	Fattore di importanza dell'edificio, in base alla categoria di appartenenza
Zona sismica	Zona sismica
Accelerazione ag	Accelerazione orizzontale massima sul suolo
Categoria suolo	Categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione
Fattore di struttura q	Fattore dipendente dalla tipologia strutturale
Fattore di sito S	Fattore dipendente dalla stratigrafia e dal profilo topografico
Classe di duttilità CD	Classe di duttilità della struttura – "A" duttilità alta, "B" duttilità bassa
Fattore riduz. SLD	Fattore di riduzione dello spettro elastico per lo stato limite di danno
Periodo proprio T1	Periodo proprio di vibrazione della struttura
Coefficiente Lambda	Coefficiente dipendente dal periodo proprio T1 e dal numero di piani della struttura
Ordinata spettro Sd(T1)	Valore delle ordinate dello spettro di progetto per lo stato limite ultimo, componente orizzontale (verticale Svd)
Ordinata spettro Se(T1)	Valore delle ordinate dello spettro elastico ridotta del fattore SLD per lo stato limite di danno, componente orizzontale (verticale Sve)
Ordinata spettro S (Tb-Tc)	Valore dell' ordinata dello spettro in uso nel tratto costante
numero di modi considerati	Numero di modi di vibrare della struttura considerati nell'analisi dinamica

Per ciascun caso di carico sismico viene riportato l'insieme di dati sottoriportati (le masse sono espresse in unità di forza):

analisi sismica statica equivalente:

Relazione esplicativa e di calcolo per plinti e strutture di sostegno - Fascicolo 9 di 10

- o quota, posizione del centro di applicazione e azione orizzontale risultante, posizione del baricentro delle rigidezze, rapporto r/Ls (per strutture a nucleo), indici di regolarità e/r secondo EC8 4.2.3.2
- o azione sismica complessiva

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
8	Esk	Sisma 0	
			categoria suolo: D
			fattore di sito S = 1.515
			ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.745 g
			angolo di ingresso:0.0
			eccentricità aggiuntiva: nulla
			periodo proprio T1: 0.381 sec.
			fattore di struttura q: 1.200
			fattore per spost. mu d: 1.359
			classe di duttilità CD: B
			coefficiente Lambda: 0.850
			ordinata spettro Sd(T1): 0.745

Quota	Forza Sismica	Tot. parziale	M Sismica x g	Pos. GX	Pos. GY	E agg. X-X	E agg. Y-Y	Pos. KX	Pos. KY	rapp. r/Ls	rapp. ex/rx	rapp. ey/ry
cm	daN	daN	daN	cm	cm	cm	cm	cm	cm			
1500.00	460.29	460.29	478.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000.00	260.39	720.68	405.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500.00	164.99	885.68	514.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Risulta	885.68		1397.69									

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
9	Esk	Sisma 90	
			categoria suolo: D
			fattore di sito S = 1.515
			ordinata spettro (tratto Tb-Tc) = 0.745 g
			angolo di ingresso:90.00
			eccentricità aggiuntiva: nulla
			periodo proprio T1: 0.381 sec.
			fattore di struttura q: 1.200
			fattore per spost. mu d: 1.359
			classe di duttilità CD: B
			coefficiente Lambda: 0.850
			ordinata spettro Sd(T1): 0.745

Quota	Forza Sismica	Tot. parziale	M Sismica x g	Pos. GX	Pos. GY	E agg. X-X	E agg. Y-Y	Pos. KX	Pos. KY	rapp. r/Ls	rapp. ex/rx	rapp. ey/ry
cm	daN	daN	daN	cm	cm	cm	cm	cm	cm			
1500.00	460.29	460.29	478.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000.00	260.39	720.68	405.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
500.00	164.99	885.68	514.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Risulta	885.68		1397.69									

7.10 Risultati nodali

LEGENDA RISULTATI NODALI

Il controllo dei risultati delle analisi condotte, per quanto concerne i nodi strutturali, è possibile in relazione alle tabelle sottoriportate.

Una prima tabella riporta per ogni nodo a cui sia associato un vincolo rigido e/o elastico o una fondazione speciale e per ogni combinazione (o caso di carico) i valori delle azioni esercitate dalla struttura sui vincoli (reazioni vincolari cambiate di segno).

Una seconda tabella, infine riassume per ogni nodo le sei combinazioni in cui si attingono i valori minimi e massimi della reazione Fz, della reazione Mx e della reazione My.

Nodo	Cmb	Azione X daN	Azione Y daN	Azione Z daN	Azione RX daN cm	Azione RY daN cm	Azione RZ daN cm
1	1	1290.44	0.0	-2289.23	0.0	1.272e+06	0.0
1	2	1290.44	0.0	-2133.94	0.0	1.272e+06	0.0
1	3	1133.46	0.0	-1977.90	0.0	1.128e+06	0.0
1	4	1133.46	0.0	-1822.62	0.0	1.128e+06	0.0
1	6	885.68	265.70	-1237.62	-3.100e+05	1.033e+06	0.0
1	7	265.70	885.68	-1237.62	-1.033e+06	3.100e+05	0.0
Nodo		Azione X 265.70 1290.44	Azione Y 0.0 885.68	Azione Z -2289.23 -1237.62	Azione RX -1.033e+06 0.0	Azione RY 3.100e+05 1.272e+06	Azione RZ 0.0 0.0
Nodo	Cmb	Azione X daN	Azione Y daN	Azione Z daN	Azione RX daN cm	Azione RY daN cm	Azione RZ daN cm
1	1	1290.44	0.0	-2289.23	0.0	1.272e+06	0.0
	6	885.68	265.70	-1237.62	-3.100e+05	1.033e+06	0.0
	7	265.70	885.68	-1237.62	-1.033e+06	3.100e+05	0.0
	1	1290.44	0.0	-2289.23	0.0	1.272e+06	0.0
	7	265.70	885.68	-1237.62	-1.033e+06	3.100e+05	0.0
	1	1290.44	0.0	-2289.23	0.0	1.272e+06	0.0

7.11 Risultati elementi tipo trave

LEGENDA RISULTATI ELEMENTI TIPO TRAVE

Il controllo dei risultati delle analisi condotte, per quanto concerne gli elementi tipo trave, è possibile in relazione alle tabelle sottoriportate.

Gli elementi vengono suddivisi, in relazione alle proprietà in elementi:

- tipo **pilastro**
- tipo **trave in elevazione**
- tipo **trave in fondazione**

Per ogni elemento, e per ogni combinazione (o caso di carico) vengono riportati i risultati più significativi.

Per gli elementi tipo *pilastro* sono riportati in tabella i seguenti valori:

Pilas. numero dell'elemento pilastro

Cmb combinazione in cui si verificano i valori riportati

M3 mx/mn momento flettente in campata M3 max (prima riga) / min (seconda riga)

M2 mx/mn momento flettente in campata M2 max (prima riga) / min (seconda riga)

D2/D3 freccia massima in direzione 2 (prima riga) / direzione 3 (seconda riga)

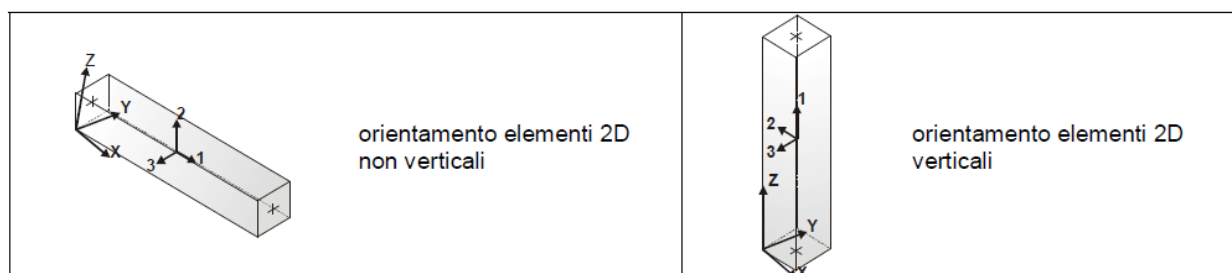
Q2/Q3 carico totale in direzione 2 (prima riga) / direzione 3 (seconda riga)

Pos. ascissa del punto iniziale e finale dell'elemento

N, V2, ecc.. sei componenti di sollecitazione al piede ed in sommità dell'elemento

Per gli elementi tipo *trave in elevazione* sono riportati, oltre al numero dell'elemento, i medesimi risultati visti per i pilastri.

Per gli elementi tipo *trave in fondazione* (trave f.) sono riportati, oltre al numero dell'elemento, i medesimi risultati visti per i pilastri e la massima pressione sul terreno.



Relazione esplicativa e di calcolo per plinti e strutture di sostegno - Fascicolo 9 di 10

Pilas.	Cmb	M3 mx/mn daN cm	M2 mx/mn daN cm	D 2 / D 3 cm	Q 2 / Q 3 daN	Pos. cm	N daN	V 2 daN	V 3 daN	T daN cm	M 2 daN cm	M 3 daN cm
1		1-7.058e+05	0.0	-6.04	-315.75	0.0	-2289.23	1290.44	0.0	0.0	0.0	0.0-1.272e+06
		-1.272e+06	0.0	0.0	0.0	500.0	-1529.90	974.69	0.0	0.0	0.0	0.0-7.058e+05
1		2-7.058e+05	0.0	-6.04	-315.75	0.0	-2133.94	1290.44	0.0	0.0	0.0	0.0-1.272e+06
		-1.272e+06	0.0	0.0	0.0	500.0	-1456.02	974.69	0.0	0.0	0.0	0.0-7.058e+05
1		3-6.302e+05	0.0	-5.36	-276.00	0.0	-1977.90	1133.46	0.0	0.0	0.0	0.0-1.128e+06
		-1.128e+06	0.0	0.0	0.0	500.0	-1325.15	857.46	0.0	0.0	0.0	0.0-6.302e+05
1		4-6.302e+05	0.0	-5.36	-276.00	0.0	-1822.62	1133.46	0.0	0.0	0.0	0.0-1.128e+06
		-1.128e+06	0.0	0.0	0.0	500.0	-1251.27	857.46	0.0	0.0	0.0	0.0-6.302e+05
1		6-5.905e+05	-1.771e+05	-5.00	0.0	0.0	-1237.62	885.68	265.70	0.0	-3.100e+05	-1.033e+06
		-1.033e+06	-3.100e+05	-1.50	0.0	500.0	-766.27	885.68	265.70	0.0	-1.771e+05	-5.905e+05
1		7-1.771e+05	-5.905e+05	-1.50	0.0	0.0	-1237.62	265.70	885.68	0.0	-1.033e+06	-3.100e+05
		-3.100e+05	-1.033e+06	-5.00	0.0	500.0	-766.27	265.70	885.68	0.0	-5.905e+05	-1.771e+05
2		1-2.882e+05	0.0	-19.75	-279.00	0.0	-1529.90	974.69	0.0	0.0	0.0	0.0-7.058e+05
		-7.058e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-920.60	695.69	0.0	0.0	0.0	0.0-2.882e+05
2		2-2.882e+05	0.0	-19.75	-279.00	0.0	-1456.02	974.69	0.0	0.0	0.0	0.0-7.058e+05
		-7.058e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-896.29	695.69	0.0	0.0	0.0	0.0-2.882e+05
2		3-2.613e+05	0.0	-17.62	-239.25	0.0	-1325.15	857.46	0.0	0.0	0.0	0.0-6.302e+05
		-6.302e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-810.35	618.21	0.0	0.0	0.0	0.0-2.613e+05
2		4-2.613e+05	0.0	-17.62	-239.25	0.0	-1251.27	857.46	0.0	0.0	0.0	0.0-6.302e+05
		-6.302e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-786.04	618.21	0.0	0.0	0.0	0.0-2.613e+05
2		6-2.301e+05	-6.904e+04	-16.57	0.0	0.0	-766.27	720.68	216.21	0.0	-1.771e+05	-5.905e+05
		-5.905e+05	-1.771e+05	-4.97	0.0	500.0	-401.04	720.68	216.21	0.0	-6.904e+04	-2.301e+05
2		7-6.904e+04	-2.301e+05	-4.97	0.0	0.0	-766.27	216.21	720.68	0.0	-5.905e+05	-1.771e+05
		-1.771e+05	-5.905e+05	-16.57	0.0	500.0	-401.04	216.21	720.68	0.0	-2.301e+05	-6.904e+04
3	1	-9000.00	0.0	-41.98	-274.50	0.0	-920.60	695.69	0.0	0.0	0.0	0.0-2.882e+05
		-2.882e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-436.50	421.19	0.0	0.0	0.0	0.0-9000.00
3	2	-9000.00	0.0	-41.98	-274.50	0.0	-896.29	695.69	0.0	0.0	0.0	0.0-2.882e+05
		-2.882e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-436.50	421.19	0.0	0.0	0.0	0.0-9000.00
3	3	-9000.00	0.0	-37.83	-227.25	0.0	-810.35	618.21	0.0	0.0	0.0	0.0-2.613e+05
		-2.613e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-405.00	390.96	0.0	0.0	0.0	0.0-9000.00
3	4	-9000.00	0.0	-37.83	-227.25	0.0	-786.04	618.21	0.0	0.0	0.0	0.0-2.613e+05
		-2.613e+05	0.0	0.0	0.0	500.0	-405.00	390.96	0.0	0.0	0.0	0.0-9000.00
3	6	0.0	0.0	-35.18	0.0	0.0	-401.04	460.29	138.09	0.0	-6.904e+04	-2.301e+05
		-2.301e+05	-6.904e+04	-10.55	0.0	500.0	-120.00	460.29	138.09	0.0	0.0	0.0
3	7	0.0	0.0	-10.55	0.0	0.0	-401.04	138.09	460.29	0.0	-2.301e+05	-6.904e+04
		-6.904e+04	-2.301e+05	-35.18	0.0	500.0	-120.00	138.09	460.29	0.0	0.0	0.0
Pilas.		M3 mx/mn	M2 mx/mn	D 2 / D 3	Q 2 / Q 3		N	V 2	V 3	T		
		-1.272e+06	-1.033e+06	-41.98	-315.75		-2289.23	138.09	0.0	0.0		
		0.0	0.0	0.0	0.0		-120.00	1290.44	885.68	0.0		