

# COMUNE DI ENNA

Provincia di Enna

**ISTANZA di Valutazione di Impatto Ambientale Nazionale,**  
ai sensi del D.L. 92/2021 e del D.lgs 152/2006 e s.m.i.

## GRANATO NEW ENERGY S.r.l.

Piazza Cavour 19  
00193 Roma (RM)

**REALIZZAZIONE di Impianto Fotovoltaico a Terra, Connesso alla RTN**  
di Potenza pari a 50,501 MWp

### Progettazione



Società di Ingegneria

**FARENTI S.r.l.**

Via Don Giuseppe Corda, snc

03030 Santopadre (FR)

Tel. 07761805460 Fax 07761800135

P.Iva 02604750600

**Ing. Piero Farenti**



Codice documento


Titolo documento

**VIA.REL5**

**CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE DI SOSTEGNO**


### Revisione Elaborato

DATA REV.	DESCRIZIONE REVISIONE	REDAZIONE	APPROVAZIONE
Marzo 2023	Prima emissione	Ing. Andrea Farenti	Ing. Piero Farenti

	<p><i>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</i> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i> <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i></p>	
	<p><i>Calcoli preliminari strutture di sostegno</i></p>	<p>Documento <b>VIA.REL5</b></p>

*Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp  
connesso alla RTN*


*Calcoli preliminari strutture di sostegno*

	<p style="text-align: center;"><b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b>  <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i>  <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i></p>	
	<p><b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b></p>	<p>Documento  <b>VIA.REL5</b></p>

## Sommario

---

Sommario .....	2
1. DESCRIZIONE GENERALE.....	3
2. SCHEMA GEOMETRICO DEI CALCOLI STRUTTURALI .....	4
3. QUADRO NORMATIVO.....	6
4. ANALISI DEI CARICHI .....	7
5. COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....	23
6. AZIONI ALLA BASE DEI PALI.....	24
7. CALCOLO DELLA LUNGHEZZA DEI PALI .....	29

	<p style="text-align: center;"><i>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</i>  <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i>  <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i></p>	
	<p><i>Calcoli preliminari strutture di sostegno</i></p>	<p><i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b></p>


## 1. DESCRIZIONE GENERALE

La struttura meccanica è composta da due telai.

Tre elementi verticali sono fissati nel terreno mediante procedura di speronamento diretto. Sono realizzati in acciaio sezione  $\Omega$ .

Nella parte superiore di questi, gli elementi di collegamento sono fissi e sostengono le travi principali, e rappresentano degli elementi orizzontali con una sezione tubolare quadrata.

Sulle travi principali, una fila di pannelli fotovoltaici in configurazione verticale è fissata attraverso due diversi tipi di supporto del modulo. Si tratta di traverse secondarie, composte da profilati d'acciaio tubolari rettangolari e sezione  $\Omega$ .

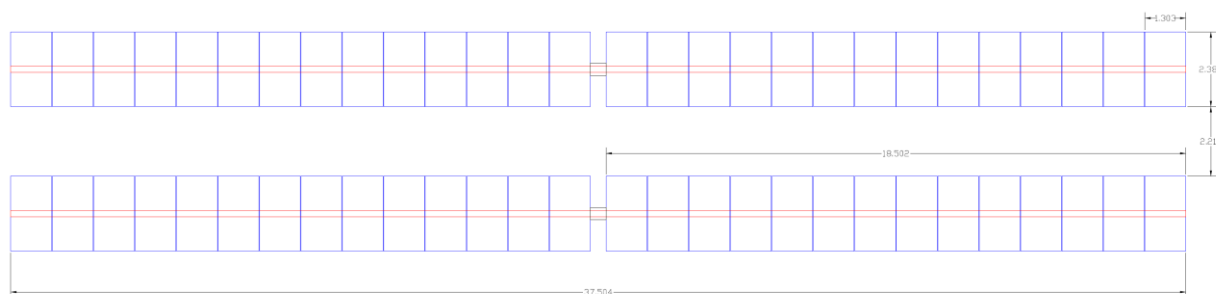
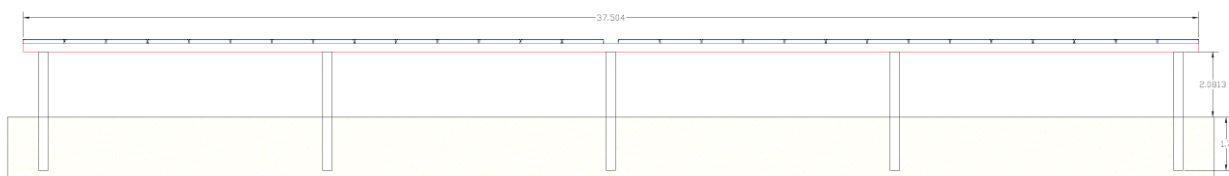
	<p style="text-align: center;"><b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b>          Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN          Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</p>	
	<p><b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b></p>	<p>Documento  <b>VIA.REL5</b></p>


## 2. SCHEMA GEOMETRICO DEI CALCOLI STRUTTURALI

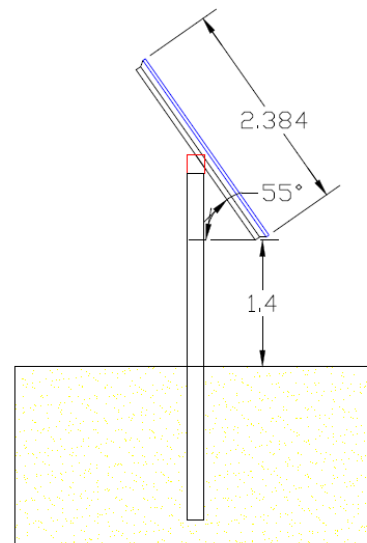
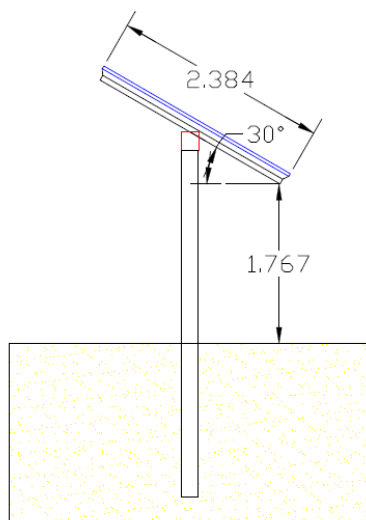
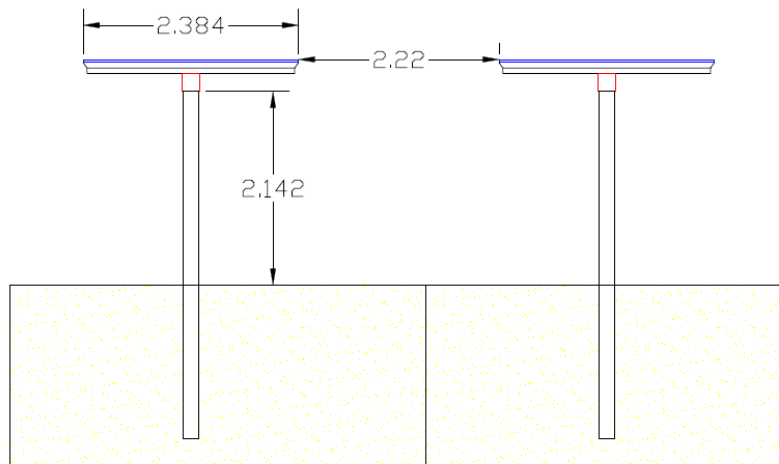
Per il calcolo strutturale abbiamo preso in considerazione tre configurazioni principali:


- MODELLO A:  $\alpha = 0^\circ$ ;
- MODELLO B:  $\alpha = 30^\circ$ ;
- MODELLO C:  $\alpha = 55^\circ$ ;

Queste configurazioni sono quelle che generano il massimo stress nella struttura. Sotto è mostrato un diagramma delle dimensioni geometriche per queste configurazioni.




	<p style="text-align: center;"><b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b>          Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN          Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</p>	
	<p><b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b></p>	<p style="text-align: right;">Documento <b>VIA.REL5</b></p>



	<p style="text-align: center;"><i>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</i>  <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i>  <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i></p>	
	<p><i>Calcoli preliminari strutture di sostegno</i></p>	<p><i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b></p>

### 3. QUADRO NORMATIVO

- EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – azioni del vento (UNI EN 1991-1-4:2005);
- EUROCODICE 3 – Progettazione delle Strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici (UNI EN 1993-1-1:2005);
- EUROCODICE 3 – Progettazione delle Strutture in acciaio – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti (UNI EN 1993-1-8:2005);
- D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Legge 2/2/74 n. 64 e DDMM 3/3/1975 – Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche.
- Costruzioni in acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione. (C.N.R. 10011/85);
- Istruzioni per la valutazione delle Azioni sulle Costruzioni. (C.N.R. 10012/85);

	<p style="text-align: center;"><b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b>          Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN          Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</p>	
	<p><b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b></p>	<p style="text-align: center;">Documento <b>VIA.REL5</b></p>

## 4. ANALISI DEI CARICHI

### CARICO PERMANENTE

#### Structural permanent loads

##### Central Main Beam- 120x120

L1=	6,000	<i>m - length beam</i>
pp1=	108,0	<i>N/m - load cross section</i>
n°=	1	
<b>p1.1=</b>	<b>647,9</b>	<i>(N)</i>

##### Lateral Main Beam- 120x120

L1=	1,388	<i>m - length beam</i>
pp1=	70,7	<i>N/m - load cross section</i>
n°=	1	
<b>p1.1=</b>	<b>98,2</b>	<i>(N)</i>

##### Pannel support stand - type P

L2=	0,700	<i>m - length beam</i>
pp2=	43,6	<i>N/m - load cross section</i>
n°=	1	
<b>p2=</b>	<b>30,5</b>	<i>(N)</i>

##### Pannel support stand - type S

L2=	1,729	<i>m - length beam</i>
pp2=	29,8	<i>N/m - load cross section</i>
n°=	1	
<b>p2=</b>	<b>51,6</b>	<i>(N)</i>

##### KIT's elements for fixing the beam to the central pile

<b>p3=</b>	<b>225,6</b>	<i>(N)</i>
------------	--------------	------------

##### KIT's elements for fixing the beam to the lateral pile

<b>p3=</b>	<b>279,6</b>	<i>(N)</i>
------------	--------------	------------


##### Foundation pile - type Ω

L4.1=	2,05	<i>m - preliminary embedment length in to the ground</i>
L4.2=	2,05	<i>m - length above the ground</i>
pp4=	138	<i>N/m - load cross section</i>
n°=	1	
<b>p4=</b>	<b>281,9</b>	<i>(N)</i>

#### Photovoltaic Modules

A=	1303	<i>(mm)</i>
B=	2384	<i>(mm)</i>
<b>p5=</b>	<b>244</b>	<i>(N)</i>



	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN  Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	<i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b>

## CARICO DEL VENTO

Il carico del vento è determinato, secondo il D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni:

- $\alpha = 0^\circ$ : velocità del vento  $V = 27$  m/s
- $\alpha \neq 0^\circ$ : velocità del vento  $V = 15$  m/s

La velocità del vento di base è determinata secondo la Tabella 3.3.I del D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il valore è la caratteristica velocità media del vento di 10 minuti, indipendentemente dalla direzione del vento e dal periodo dell'anno, a 10 m sopra il livello del suolo in terreni aperti con bassa vegetazione come erba e ostacoli isolati, con una probabilità di superare la forza progettata non superiore al 2% in 50 anni.

Il sito fotovoltaico si trova in zona 4 (Sicilia), come si evince dalla tabella sottostante

**Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$**


Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Ne consegue che la velocità base del vento  $V_{b0} = 28$  m/s

La velocità media del vento è determinata, in accordo con la sezione 3.3.1 del D. M. 17 gennaio 2018, secondo la seguente formula:

$$V_b = C_a \times V_{b0}$$

Dove

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i> <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	<i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b>

$V_{bo} = 28 \text{ m/s}$  per l'inclinazione del tracker =  $0^\circ$

$V_{bo} = 15 \text{ m/s}$  per l'inclinazione del tracker  $\neq 0^\circ$

$C_a$  è il coefficiente di altitudine pari a 1

$$c_s = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_s = 1 + k_s \left( \frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Quindi avremo:

$V_b = 28 \text{ m/s}$  ( $\alpha = 0^\circ$ )

$V_b = 15 \text{ m/s}$  ( $\alpha \neq 0^\circ$ )

La velocità di riferimento del vento è calcolata, secondo la sezione 3.3.2 del D.M. 17 gennaio 2018, secondo la seguente formula:

$$V_{br} = C_r \times V_b$$

dove  $C_r$  è il coefficiente di ritorno, calcolato, rispetto ad un periodo di ritorno  $T_r$  di 25 anni, secondo la seguente formula:


$$c_r = 0,75 \sqrt{1 - 0,20 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_r} \right) \right]} = 0,75 \sqrt{1 - 0,20 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{25} \right) \right]} = 0,960$$

Quindi avremo:

$V_{br} = 0,960 \times 28 = 26,88 \text{ m/s}$  - ( $\alpha = 0^\circ$ )

$V_{br} = 1 \times 15 = 15 \text{ m/s}$  - ( $\alpha \neq 0^\circ$ )

La pressione cinetica di riferimento è determinata dalla seguente espressione, secondo la sezione 3.3.6 del D.M. 17 gennaio 2018:

	<p style="text-align: center;"><b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b>          Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN          Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</p>	
	<p><b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b></p>	<p>Documento  <b>VIA.REL5</b></p>

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,r}^2$$

$\rho$  è la densità dell'aria, calcolata all'altezza di 50 metri sul livello del mare, pari a 1,2 kg/mq

Avremo quindi:

$$q_r = 403 \text{ N/mq} - (\alpha = 0^\circ)$$

$$q_r = 135 \text{ N/mq} - (\alpha \neq 0^\circ)$$

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza della struttura  $z$  sopra il terreno e dalla categoria di esposizione del sito in cui si trova la struttura.

$$c_e(z) = k_t^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$


$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

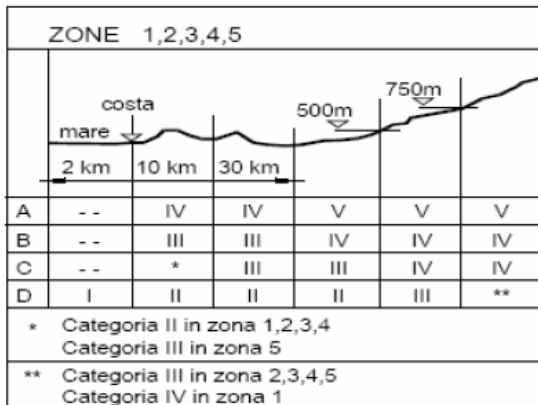
La classe di rugosità dell'intervento può essere considerata la C, un'area a bassa vegetazione come erba e ostacoli isolati.

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	Documento <b>VIA.REL5</b>



I parametri per il calcolo di  $c_e$ , per il sito con categoria di esposizione III e con un fattore topografico uguale a  $ct = 1$ , sono riportati nella tabella seguente:

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Pertanto, il valore del coefficiente di esposizione è

$$c_e = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] = 0,20^2 \ln\left(\frac{5}{0,1}\right) \left[7 + \ln\left(\frac{5}{0,1}\right)\right] = 1,708$$

Il coefficiente dinamico  $C_d$  è determinato in riferimento al fattore  $C_s C_d$ .

I fattori strutturali  $C_s$  e  $C_d$  dovrebbero tenere conto dell'effetto sulle azioni del vento derivante dal verificarsi non simultaneo di picchi di pressione del vento sulla superficie insieme all'effetto delle vibrazioni della struttura dovute alla turbolenza. Il fattore strutturale  $C_s C_d$  può essere separato in un fattore dimensionale ( $c_s$ ) e un fattore dinamico ( $cd$ ), in base al capitolo 6.3.1.

Il calcolo del fattore strutturale  $C_s C_d$  è stato eseguito mediante l'uso di un foglio Excel, come di seguito descritto.

### Calculation of the structural factor $c_s \cdot c_d$ - for upwind ( $\alpha=0^\circ$ )

Geometrical and mechanical characteristics		
$z_s$	4,450	= Terrain category III (m) reference height of the structure
$z_0$	0,1	(m)
$z_{min}$	5	(m)
$V_m$	26,89	(m/s) mean wind velocity
$\rho$	1,2070	(Kg/m <sup>3</sup> ) air density
$C_f$	0,20	force coefficient for the structure (Section 7)
$C_G$	1	orography factor
Massa del 1° modo	65	(Kg) is the equivalent mass per unit length according to EN 1991-1-4 § F.4.
$I_{vs}$	0,256	turbulence intensity

Wind turbulence		
$L(z)$	38,742	Turbulent length scale
$L_t$	300	m
$z_t$	200	m
$S_L(z)$	0,0383	non dimensional power spectral density
$T$	0,21	Fundamental period of the structure
$n$	4,76	natural frequency of the structure in Hz
$f_L(z, n)$	6,861	non dimensionale frequency

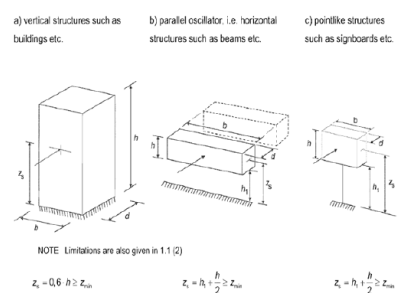
Calculation of the background factor B - procedure 1 - Annex B		
$B^2$	0,636	background factor
$b$	14,432	(m) length tracker - see fig.6.1
$h$	4,432	(m) width tracker - see fig.6.1

Calculation of the peak factor $K_p$		
$K_p$	3,683	(sec) is the averaging time for the mean wind velocity
$T$	600	(sec) is the up-crossing frequency
$R^2$	0,018	Resonance response factor
$\eta_x$	3,610	
$\eta_b$	11,756	
$R_{\eta_x}$	0,239	
$R_{\eta_b}$	0,081	

Calculation logarithmic decrement of damping		
$\delta_s$	0,15	logarithmic decrement of structural damping - Table F.2
$\delta_a$	0	when no special device is used.
$\delta$	0,201	logarithmic decrement of damping

Structural factor $c_d \cdot c_s$		
$c_d \cdot c_s$	0,905	

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010  
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

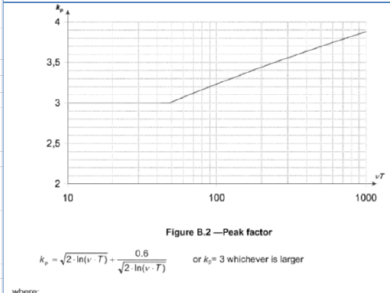


**6.3.1 Structural factor  $c_d \cdot c_s$**   
 (1) The detailed procedure for calculating the structural factor  $c_d \cdot c_s$  is given in Expression (6.1). This procedure can only be used if the conditions given in 6.3.1 (2) apply.  

$$c_d \cdot c_s = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_s(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_s(z_s)} \quad (6.1)$$
 where:  
 $z_s$  is the reference height for determining the structural factor, see Figure 6.1. For structures where Figure 6.1 does not apply  $z_s$  may be set equal to  $h$ , the height of the structure.  
 $k_p$  is the peak factor defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation.  
 $I_s$  is the turbulence intensity defined in 4.4.  
 $B^2$  is the background factor, allowing for the lack of full correlation of the pressure on the structure surface.  
 $R^2$  is the resonance response factor, allowing for turbulence in resonance with the vibration mode.  
 NOTE 1: The peak factor  $k_p$  takes into account the reduction effect on the wind action due to the non-simultaneity of occurrence of the peak wind pressures on the surface and may be obtained from Expression (6.2).  

$$k_p = 1 + 2 \cdot \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot \ln(v \cdot T))} \quad (6.2)$$
 NOTE 2: The dynamic factor  $c_d$  takes into account the increasing effect from vibrations due to turbulence in resonance with the structure and may be obtained from Expression (6.3).  

$$c_d = 1 + 2 \cdot A_s \cdot \frac{I_s(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_s(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}} \quad (6.3)$$
 NOTE 3: The procedure to be used to determine  $k_p$ ,  $B$  and  $R$  may be given in the National Annex. A modification procedure is given in Annex B. A modification procedure is given in Annex C. As an indication to the user the differences in using Annex C compared to Annex B does not exceed approximately 5%.  
 (2) Expression (6.1) shall only be used if all of the following requirements are met:  
 - the structure corresponds to one of the general shapes shown in Figure 6.1.  
 - only the along-wind vibration in the fundamental mode is significant, and this mode shape has a constant sign.  
 NOTE: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.



Structural type	structural damping $\delta_s$
reinforced concrete buildings	0,10
steel buildings	0,05
welded structures: concrete + steel	0,08
reinforced concrete towers and chimneys	0,03
unlined welded steel stacks without external thermal insulation	0,012
unlined welded steel stack with external thermal insulation	0,020
steel stack with one liner with external thermal insulation <sup>a</sup>	$n/b = 1/9$ 0,020
	$20/n/b = 24$ 0,040
	$n/b \geq 26$ 0,014
steel stack with two or more liners with external thermal insulation <sup>a</sup>	$n/b = 1/8$ 0,020
	$20/n/b = 24$ 0,040
	$n/b \geq 26$ 0,025
steel stack with internal brick liner	0,070
steel stack with internal granite	0,030
coupled stacks without liner	0,015
guyed steel stack without liner	0,04
steel bridges	welded 0,02
lattice steel towers	high resistance bolts 0,03
	ordinary bolts 0,05
composite bridges	0,04
concrete bridges	prestressed without cracks 0,04
	with cracks 0,10
timber bridges	0,06 - 0,12
bridges, aluminum alloys	0,02
bridges, glass or fibre reinforced plastic	0,04 - 0,09
cables	parallel cables 0,006
	spiral cables 0,020

## Calcoli preliminari strutture di sostegno

### Calculation of the structural factor $c_s \cdot c_d$ - for downwind ( $\alpha=0^\circ$ )

Geometrical and mechanical characteristics		
$z_s =$	4,450	= Terrain category III (m) reference height of the structure
$z_0 =$	0,1	(m)
$z_{ref} =$	5	(m)
$V_m =$	<b>26,89</b>	(m/s) mean wind velocity
$\rho =$	1,2070	(kg/m <sup>3</sup> ) air density
$C_f =$	<b>0,50</b>	force coefficient for the structure (Section 7)
$C_{pe} =$	1	orography factor
Massa del 1° modo	65	(Kg) is the equivalent mass per unit length according to EN 1991-1-4 § F.4.
$I_w =$	0,256	turbulence intensity

#### Wind turbulence

$L(z) = L_s \left( \frac{z}{z_s} \right)^{0,167}$ for $z > z_s$	38,742	Turbulent length scale
$L(z) = L(z_{ref})$ for $z < z_{ref}$		
$L_s =$	300	m
$z_s =$	200	m
$S_w(z) = \frac{n \cdot S_w(z_{ref})}{z_s^{2n}} \cdot \frac{6,8 \cdot (z_{ref})^n}{(1 + 10,2 \cdot (z_{ref})^n)^{0,3}}$	0,0383	non dimensional power spectral density
$T =$	<b>0,21</b>	Fundamental period of the structure
$n =$	4,76	natural frequency of the structure in Hz
$f_s(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{V_m(z)}$	6,861	non dimensional frequency

#### Calculation of the background factor B - procedure 1 - Annex B

$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,65}}$	0,636	background factor
$b =$	<b>14,432</b>	(m) length tracker - see fig.6.1
$h =$	<b>4,432</b>	(m) width tracker - see fig.6.1

#### Calculation of the peak factor $K_p$

$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$	3,582	
$T =$	600	(sec) is the averaging time for the mean wind velocity
$v = n_{1,3} \sqrt{\frac{R^2}{B^2} + R^2}$	0,550	is the up-crossing frequency
$R^2 = \frac{z^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_w(z_s, n_{1,3}) \cdot R_s(\eta_s) \cdot R_b(\eta_b)$	0,009	Resonance response factor
$\eta_s = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_s(z_s, n_{1,3})$	3,610	
$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_s(z_s, n_{1,3})$	11,755	
$R_s = \frac{1}{\eta_s} - \frac{1}{2 \cdot \eta_s} (1 - e^{-2 \eta_s})$	0,239	
$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b} (1 - e^{-2 \eta_b})$	0,081	

#### Calculation logarithmic decrement of damping

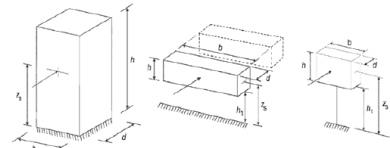
$\delta_s =$	0,05	logarithmic decrement of structural damping - Table F.2
$\delta_a = \frac{c_d \cdot \rho \cdot b \cdot V_m(z_s)}{2 \cdot n_s \cdot m_s}$	0,38	logarithmic decrement of of aerodynamic damping
$\delta_0 =$	0	when no special device is used.
$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_0$	<b>0,428</b>	logarithmic decrement of damping

#### Structural factor $c_d \cdot c_s$

$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_w(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_w(z_s)}$	<b>0,886</b>	
--	--------------	--

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010  
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

- a) vertical structures such as buildings etc.      b) parallel oscillator, i.e. horizontal structures such as beams etc.      c) pointlike structures such as signboards etc.



NOTE: Limitations are also given in 1.1 (2)

$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{ref} \quad z_s = h_s \cdot \frac{h}{2} \geq z_{ref} \quad z_s = h_s \cdot \frac{h}{2} \geq z_{ref}$$

#### 6.3.1 Structural factor $c_s \cdot c_d$

(1) The detailed procedure for calculating the structural factor  $c_s \cdot c_d$  is given in Expression (6-1). This procedure can only be used if the conditions given in 6.3.1 (2) apply.

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_w(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_w(z_s)} \quad (6-1)$$

where:

$z_s$  is the reference height for determining the structural factor, see Figure 6.1. For structures where Figure 6.1 does not apply  $z_s$  may be set equal to  $h$ , the height of the structure.

$k_p$  is the peak factor defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation

$I_w$  is the turbulence intensity defined in 4.4

$B^2$  is the background factor, allowing for the lack of full correlation of the pressure on the structure surface

$R^2$  is the resonance response factor, allowing for turbulence in resonance with the vibration mode

NOTE 1: The side factor  $c_d$  takes into account the reduction effect on the wind action due to the non-simultaneity of occurrence of the peak wind pressures on the surface and may be obtained from Expression 6.3.2

$$c_d = \frac{1 + 7 \cdot I_w(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_w(z_s)} \quad (6-2)$$

NOTE 2: The procedure to be used to determine  $k_p$  and  $R^2$  may be given in the National Annex. A recommended procedure is given in Annex B. An alternative procedure is given in Annex C. An adjustment to the wind direction is not required when using Annex C compared to Annex B (does not exceed approximately 5%).

$$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_w(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_w(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}} \quad (6-3)$$

NOTE 3: The procedure to be used to determine  $k_p$  and  $R^2$  may be given in the National Annex. A recommended procedure is given in Annex B. An alternative procedure is given in Annex C. An adjustment to the wind direction is not required when using Annex C compared to Annex B (does not exceed approximately 5%).

NOTE 4: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 5: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 6: Expression (6-1) shall only be used if all of the following requirements are met:

— the structure corresponds to one of the general shapes shown in Figure 6.1.

— only the alongwind vibration in the fundamental mode is significant, and this mode shape has a constant sign.

— the structure is not subjected to wind action from the second or higher alongwind vibration modes.

NOTE 7: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 8: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 9: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 10: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 11: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 12: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 13: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 14: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 15: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 16: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 17: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 18: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 19: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 20: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 21: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 22: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 23: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 24: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 25: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 26: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 27: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 28: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 29: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 30: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 31: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 32: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 33: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 34: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 35: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 36: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 37: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 38: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 39: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 40: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 41: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 42: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 43: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 44: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 45: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 46: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 47: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 48: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 49: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 50: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 51: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 52: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 53: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 54: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 55: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 56: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 57: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

NOTE 58: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

Table F.2 — Approximate values of logarithmic decrement of structural damping in the fundamental mode,  $\delta_s$

Structural type	structural damping, $\delta_s$
reinforced concrete buildings	0.10
steel buildings	0.05
mixed structures concrete + steel	0.08
reinforced concrete beams and chimneys	0.03
Unframed welded steel stacks without external thermal insulation	0.012
unframed welded steel stack with external thermal insulation	0.020
steel stack with one liner with external thermal insulation*	h/b = 10: 0.020 20/h/b = 24: 0.040 h/b = 25: 0.014
steel stack with two or more liners with external thermal insulation*	h/b = 18: 0.020 20/h/b = 24: 0.040 h/b = 25: 0.025
steel stack with internal track liner	0.070
steel stack with internal guniting	0.030
coupled stacks without liner	0.016
guyed steel stack without liner	0.04
steel bridges	welded: 0.02 high resistance bolts: 0.03
lattice steel towers	ordinary bolts: 0.05
composite bridges	0.04
concrete bridges	prestressed without cracks: 0.04 with cracks: 0.10
Timber bridges	0.06 - 0.12
Bridges, aluminium alloys	0.02
Bridges, glass or fibre reinforced plastic	0.04 - 0.08
cables	parallel cables: 0.060 spiral cables: 0.020

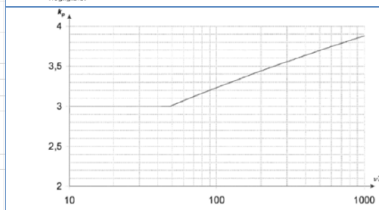


Figure B.2 — Peak factor

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad \text{or} \quad k_p = 3 \quad \text{whichever is larger}$$

where:

### Calculation of the structural factor $c_s \cdot c_d$ - for upwind ( $\alpha=30^\circ$ )

Geometrical and mechanical characteristics		
$z_s =$	4,450	= Terrain category III (m) reference height of the structure
$z_p =$	0,1	(m)
$z_{min} =$	5	(m)
$V_m =$	15	(m/s) mean wind velocity
$\rho =$	1,2070	(Kg/m <sup>3</sup> ) air density
$C_f =$	1,200	force coefficient for the structure (Section 7)
	1	orography factor
Massa del 1° modo	65	(Kg) is the equivalent mass per unit length according to EN 1991-1-4 § F.4.
$I_{vz} =$	0,256	turbulence intensity
$I_v(z) = \frac{0.07}{z^{0.16}}$ for $z_{min} \leq z \leq z_s$ $I_v(z) = I_v(z_s)$ for $z < z_{min}$ (6.7)		
where: A. is the turbulence factor. The value of $I_v$ may be given in the National Annex. The recommended value for $I_v$ is 1.0. C. is the orography factor as described in 4.3.3 z. is the roughness length, given in Table 4.1		
Wind turbulence		
$L(z) = L_1 \left( \frac{z}{z_s} \right)^{0.67}$ for $z > z_{min}$ $L(z) = L(z_{min})$ for $z < z_{min}$	38,742	Turbulent length scale
$L_t =$	300	m
$L_z =$	200	m
$S_w(z, n) = \frac{n \cdot S_w(z, n)}{\sigma^2} = \frac{6.8 \cdot \{L(z)\}}{(1 + 10.2 \cdot I_v(z, n))^{0.5}}$	0,0263	non dimensional power spectral density
$T =$	0,21	Fundamental period of the structure
$n =$	4,76	natural frequency of the structure in Hz
$f_s(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{V_m(z)}$	12,299	non dimensionale frequency

### Calculation of the background factor B - procedure 1 - Annex B

$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.65}}$	0,636	background factor
$b =$	14,432	(m) length tracker - see fig.6.1
$h =$	4,432	(m) width tracker - see fig.6.1

### Calculation of the peak factor $K_p$

$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T) + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$	3,335	
$T =$	600	(sec) is the averaging time for the mean wind velocity
$v = n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$	0,234	is the up-crossing frequency
$R^2 = \frac{z^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_w(z_p, n_1) \cdot R_p(\eta_b) \cdot R_p(\eta_s)$	0,002	Resonance response factor
$\eta_b = \frac{4.6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_s(z_s, n_1)$	6,472	
$\eta_s = \frac{4.6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_s(z_s, n_1)$	21,075	
$R_p = \frac{1}{\eta_b} \cdot \frac{1}{2 \cdot \eta_s} \cdot (1 - e^{-2\eta_b})$	0,143	
$R_s = \frac{1}{\eta_b} \cdot \frac{1}{2 \cdot \eta_s} \cdot (1 - e^{-2\eta_s})$	0,046	

### Calculation logarithmic decrement of damping

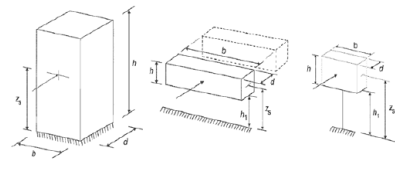
$\delta_s =$	0,05	logarithmic decrement of structural damping - Table F.2
$\delta_a = \frac{C_d \cdot \rho \cdot b \cdot V_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_b}$	0,51	logarithmic decrement of aerodynamic damping
$\delta_c =$	0	when no special device is used.
$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_c$	0,557	logarithmic decrement of damping

### Structural factor $c_d \cdot c_s$

$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)}$	0,847	
--	-------	--

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010  
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

- a) vertical structures such as buildings etc.      b) parallel oscillator, i.e. horizontal structures such as beams etc.      c) porridge structures such as signboards etc.



NOTE: Limitations are also given in 1.1 (2)

$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{min} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{min} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{min}$$

#### 6.3.1 Structural factor $c_s \cdot c_d$

(1) The detailed procedure for calculating the structural factor  $c_s \cdot c_d$  is given in Expression (6.1). This procedure can only be used if the conditions given in 6.3.1 (2) apply.

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.1)$$

where:

- $z_s$  is the reference height for determining the structural factor, see Figure 6.1. For structures where Figure 6.1 does not apply  $z_s$  may be set equal to  $h$ , the height of the structure.
  - $k_p$  is the peak factor defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation.
  - $I_v$  is the turbulence intensity defined in 4.4
  - $B^2$  is the background factor, allowing for the lack of full correlation of the pressure on the structure surface.
  - $R^2$  is the resonance response factor, allowing for turbulence in resonance with the vibration mode.
- NOTE 1: The size factor  $c_s$  takes into account the resonance effect on the wind action due to the non-simultaneous occurrence of the peak wind pressure on the surface and may be obtained from Expression (6.2).
- $$c_s = \frac{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (6.2)$$
- NOTE 2: The dynamic factor  $c_d$  takes into account the increasing effect from vibrations due to turbulence in resonance with the structure and may be obtained from Expression (6.3).
- $$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (6.3)$$
- NOTE 3: This procedure is to be used to determine  $c_s \cdot c_d$  and it may be given in the National Annex. A recommended procedure is given in Annex B. An alternative procedure is given in Annex C. As an indication to the user, the reference to  $c_d$  using Annex C, except for Annex B, does not exceed approximately 5%.

GDF: Expression (6.1) shall only be used if all of the following requirements are met:

- the structure corresponds to one of the general shapes shown in Figure 6.1.
  - only the along-wind vibration in the fundamental mode is significant, and this mode shape has a constant sign.
- NOTE: The contribution to the response from the second or higher elongated vibration modes is negligible.

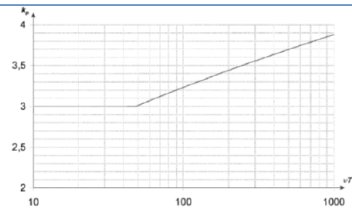


Figure B.2 — Peak factor

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T) + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}} \quad \text{or } k_p = 3 \text{ whichever is larger}$$

where:

- $v$  is the up-crossing frequency given in (4)
- $T$  is the averaging time for the mean wind velocity,  $T = 600$  seconds.

Table F.2 — Approximate values of logarithmic decrement of structural damping in the fundamental mode,  $\delta_s$

Structural type	structural damping, $\delta_s$
reinforced concrete buildings	0.10
steel buildings	0.05
mixed structures concrete + steel	0.05
reinforced concrete towers and chimneys	0.03
unlined welded steel stack without external thermal insulation	0.012
unlined welded steel stack with external thermal insulation	0.020
steel stack with one liner with external thermal insulation*	$h/b < 18$ 0.020 $20 \leq h/b \leq 24$ 0.040 $h/b \geq 26$ 0.014
steel stack with two or more liners with external thermal insulation*	$h/b < 18$ 0.020 $20 \leq h/b \leq 24$ 0.040 $h/b \geq 26$ 0.025
steel stack with internal brick liner	0.070
steel stack with internal gunite	0.030
coupled stacks without liner	0.010
guyed steel stack without liner	0.04
steel bridges	welded 0.02 high resistance bolts 0.03
lattice steel towers	ordinary bolts 0.05
composite bridges	0.04
concrete bridges	prestressed without cracks 0.04 with cracks 0.10
Timber bridges	0.06 - 0.12
Bridges, aluminium alloys	0.02
Bridges, glass or fibre reinforced plastic	0.04 - 0.08
cables	parallel cables 0.006 spiral cables 0.020

### Calculation of the structural factor $c_s \cdot c_d$ - for downwind ( $\alpha=30^\circ$ )

#### Geometrical and mechanical characteristics

$Z_s$	III	= Terrain category
$Z_0$	4,450	(m) reference height of the structure
$Z_{0m}$	0,1	(m)
$Z_{0m}$	5	(m)
$V_m$	15	(m/s) mean wind velocity
$\rho$	1,2070	(kg/m <sup>3</sup> ) air density
$C_f$	1,800	force coefficient for the structure (Section 7)
$C_g$	1	orography factor
Massa del 1° modo	65	(Kg) is the equivalent mass per unit length according to EN 1991-1-4 § F.4.
$I_w$	0,256	turbulence intensity

$f(z) = \frac{0.43}{z^{0.16}}$  for  $z \leq z_{0m}$   
 $f(z) = \frac{0.43}{z^{0.16}} \cdot \frac{z_{0m}^{0.16}}{z^{0.16}}$  for  $z > z_{0m}$  (4.7)

where:

- A is the turbulence factor. The value of A may be given in the National Annex. The recommended value for A is 1.0.
- C<sub>g</sub> is the orography factor as described in 4.3.3
- Z<sub>0</sub> is the roughness length, given in Table 4.1

#### Wind turbulence

$L(z) = L_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^{0.67}$ for $z > z_{0m}$ $L(z) = L(z_{0m})$ for $z \leq z_{0m}$	38,742	Turbulent length scale
$L_t$	300	m
$L_t$	200	m
$S_L(z, n) = \frac{n \cdot S_L(z, n)}{\sigma^2} = \frac{6.8 \cdot f(z, n)}{(1 + 10.2 \cdot f(z, n))^2}$	0,0263	non dimensional power spectral density
$T = \frac{1}{n}$	0,21	Fundamental period of the structure
$n = \frac{1}{T}$	4,76	natural frequency of the structure in Hz
$f_s(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{V_m(z)}$	12,299	non dimensionale frequency

#### Calculation of the background factor B - procedure 1 - Annex B

$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.63}}$	0,636	background factor
$b$	14,432	(m) length tracker - see fig.6.1
$h$	4,432	(m) width tracker - see fig.6.1

#### Calculation of the peak factor $k_p$

$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$	3,279	(sec) is the averaging time for the mean wind velocity
$v = n \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$	0,194	is the up-crossing frequency
$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_1) \cdot R_g(\eta_s) \cdot R_g(\eta_b)$	0,001	Resonance response factor
$\eta_b = \frac{4.6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_s(z_s, n_1)$	6,472	
$\eta_s = \frac{4.6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_s(z_s, n_1)$	21,075	
$R_g = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_s} (1 - \theta^{-2 \eta_b})$	0,143	
$R_g = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_s} (1 - \theta^{-2 \eta_s})$	0,016	

#### Calculation logarithmic decrement of damping

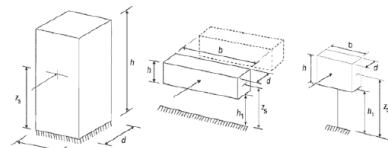
$\delta_s = \frac{C_d \cdot \rho \cdot b \cdot V_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_b}$	0,05	logarithmic decrement of structural damping - Table F.2
$\delta_a = \frac{C_d \cdot \rho \cdot b \cdot V_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_b}$	0,76	logarithmic decrement of aerodynamic damping
$\delta_c = 0$		when no special device is used.
$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_c$	0,810	logarithmic decrement of damping

#### Structural factor $c_d \cdot c_s$

$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot f_s(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot f_s(z_s)}$	0,838	
--	-------	--

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010  
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

- a) vertical structures such as buildings etc.
- b) parallel oscillator i.e. horizontal structures such as beams etc.
- c) portlike structures such as signboards etc.



NOTE: Limitations are also given in 1.1 (2)

$$z_s = 0.6 \cdot b \geq z_{0m} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{0m} \quad z_s = \frac{h}{2} \geq z_{0m}$$

#### 6.3.1 Structural factor $c_s \cdot c_d$

(1) The detailed procedure for calculating the structural factor  $c_s \cdot c_d$  is given in Expression (6.1). This procedure can only be used if the conditions given in 6.3.1 (2) apply.

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot f_s(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot f_s(z_s)} \quad (6.1)$$

where:

- $z_s$  is the reference height for determining the structural factor, see Figure 6.1. For structures where Figure 6.1 does not apply  $z_s$  may be equal to  $h_s$ , the height of the structure.
  - $k_p$  is the peak factor defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation
  - $f_s$  is the turbulence intensity defined in 4.4
  - $B^2$  is the background factor, allowing for the lack of full correlation of the pressure on the structure surface
  - $R^2$  is the resonance response factor, allowing for turbulence in resonance with the vibration mode
- NOTE 1: The peak factor  $k_p$  takes into account the reduction effect on the wind action due to the non-stationarity of occurrence of the peak wind pressure on the surface and may be obtained from Expression (6.1).
- NOTE 2: The dynamic factor  $c_d$  takes into account the increasing effect from vibrations due to turbulence in resonance with the structure and may be obtained from Expression (6.1).
- NOTE 3: This procedure to be used to determine  $A_s$ ,  $B$  and  $R$  may be given in the National Annex. A recommended procedure is given in Annex B. An alternative procedure is given in Annex C. As an indication to the users the differences in  $c_s \cdot c_d$  using Annex C compared to Annex B does not exceed approximately 20%.

NOTE: Expression (6.1) shall only be used if all of the following requirements are met:

- the structure corresponds to one of the general shapes shown in Figure 6.1.
- only the along-wind vibration in the fundamental mode is significant, and this mode shape has a constant sign.
- NOTE: The contribution to the response from the second or higher along-wind vibration modes is negligible.

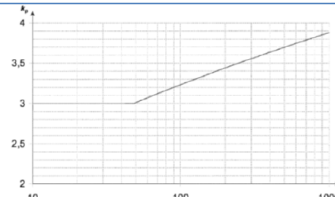


Figure B.2 - Peak factor

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad \text{or } k_p = 3 \text{ whichever is larger}$$

where:

Table F.2 - Approximate values of logarithmic decrement of structural damping in the fundamental mode,  $\delta_s$

Structural type	Structural damping $\delta_s$
reinforced concrete buildings	0.10
steel buildings	0.05
mixed structures concrete + steel	0.08
reinforced concrete towers and chimneys	0.03
unlined welded steel stacks without external thermal insulation	0.012
unlined welded steel stack with external thermal insulation	0.020
steel stack with one liner with external thermal insulation*	$h/b < 10$ 0.020 $20 \leq h/b < 24$ 0.040
steel stack with two or more liners with external thermal insulation**	$h/b < 10$ 0.014 $20 \leq h/b < 24$ 0.020 $h/b \geq 29$ 0.040
steel stack with internal brick liner	0.070
steel stack with internal gunite	0.030
coupled stacks without liner	0.015
grated steel stack without liner	0.04
steel + lattice steel towers	welded 0.02 high resistance bolts 0.03 ordinary bolts 0.05
composite bridges	0.04
concrete bridges	prestressed without cracks 0.04 with cracks 0.10
Timber bridges	0.06 - 0.12
Bridges, aluminum alloys	0.02
Bridges, glass or fibre reinforced plastic	0.04 - 0.06
cables	parallel cables 0.066 spiral cables 0.020



### Calculation of the structural factor $c_s \cdot c_d$ - for upwind ( $\alpha=55^\circ$ )

<b>1.41</b>		
$Z_s =$	4,450	III = Terrain category
$Z_0 =$	0,1	(m) reference height of the structure
$Z_{min} =$	5	(m)
$V_m =$	15	(m/s) mean wind velocity
$\rho =$	1,2070	(kg/m <sup>3</sup> ) air density
$C_f =$	1,410	force coefficient for the structure (Section 7)
$C_G =$	1	orography factor
Massa del 1° modo	65	(Kg) is the equivalent mass per unit length according to EN 1991-1-4 § F.4.
$I_w =$	0,256	turbulence intensity

$f_1(z) = \frac{0.16}{z} \left( \frac{z}{z_0} \right)^{0.07} \quad \text{for } z > z_{min}$   
 $f_1(z) = 1.0 \quad \text{for } z < z_{min}$  (4.7)

where:  
 A is the turbulence factor. The value of A may be given in the National Annex. The recommended value for A is 1.0.  
 C<sub>f</sub> is the orography factor as described in 4.3.3  
 z<sub>0</sub> is the roughness length, given in Table 4.1

#### Wind turbulence

$L(z) = L_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^{0.07}$ $L(z) = L_{0min}$ for $z < z_{min}$	38,742	Turbulent length scale
$L_t =$	300	m
$L_z =$	200	m
$S_L(z) = \frac{n \cdot S_L(z_0)}{z_0^{2n}} \left( \frac{z}{z_0} \right)^{2n} = \frac{6.8 \cdot f_1(z)}{(1+10.2 \cdot f_1(z))^{1.3}}$	0,0263	non dimensional power spectral density
$T =$	0,21	Fundamental period of the structure
$n =$	4,76	natural frequency of the structure in Hz
$f_1(z, n) = \frac{n \cdot L(z)}{V_m(z)}$	12,299	non dimensional frequency

#### Calculation of the background factor B - procedure 1 - Annex B

$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.63}}$	0,636	background factor
$b =$	14,432	(m) length tracker - see fig.6.1
$h =$	4,432	(m) width tracker - see fig.6.1

#### Calculation of the peak factor $K_p$

$K_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$	3,313	(sec) is the averaging time for the mean wind velocity
$T =$	600	
$v = n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2} + R^2}$	0,217	is the up-crossing frequency
$R^2 = \frac{x^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_1) \cdot R_0(\eta_a) \cdot R_0(\eta_b)$	0,001	Resonance response factor
$\eta_a = \frac{4.6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_1(z_s, n_1)$	6,472	
$\eta_b = \frac{4.6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_1(z_s, n_1)$	21,075	
$R_0 = \frac{1}{\eta_a} - \frac{1}{2 \cdot \eta_a^2} (1 - \theta^{-2\eta_a})$	0,143	
$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - \theta^{-2\eta_b})$	0,016	

#### Calculation logarithmic decrement of damping

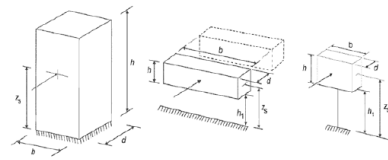
$\delta_s =$	0,05	logarithmic decrement of structural damping - Table F.2
$\delta_a = \frac{C_d \cdot \rho \cdot b \cdot V_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_b}$	0,60	logarithmic decrement of aerodynamic damping
$\delta_c =$	0	when no special device is used.
$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_c$	0,645	logarithmic decrement of damping

#### Structural factor $c_d \cdot c_s$

$c_d \cdot c_s = \frac{1 + 2 \cdot k_2 \cdot f_1(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot f_1(z_s)}$	0,843	
--	-------	--

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010  
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

- a) vertical structures such as buildings etc.      b) parallel oscillator i.e. horizontal structures such as beams etc.      c) portlike structures such as signboards etc.



NOTE: Limitations are also given in 1.1 (2)

$z_s = 0.6 \cdot h \geq z_{0min}$        $z_s = h + \frac{h}{2} \geq z_{0min}$        $z_s = h + \frac{h}{2} \geq z_{0min}$

#### 6.3.1 Structural factor $c_d \cdot c_s$

(1) The detailed procedure for calculating the structural factor  $c_d \cdot c_s$  is given in Expression (6.1). This procedure can only be used if the conditions given in 6.3.1 (2) apply.

$$c_d \cdot c_s = \frac{1 + 2 \cdot k_2 \cdot f_1(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot f_1(z_s)} \quad (6.1)$$

where:

- $z_s$  is the reference height for determining the structural factor, see Figure 6.1. For structures where Figure 6.1 does not apply  $z_s$  may be set equal to  $h$ , the height of the structure.
  - $k_2$  is the peak factor defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation
  - $f_1$  is the turbulence intensity defined in 4.4
  - $B^2$  is the background factor, allowing for the lack of full correlation of the pressure on the structure surface
  - $R^2$  is the resonance response factor, allowing for turbulence in resonance with the vibration mode
- NOTE 1 The peak factor  $k_2$  takes into account the reduction effect on the wind action due to the non-coincidence of the peak wind pressure on the surface and may be obtained from Expression (6.2):
- $$k_2 = 1 + 7 \cdot f_1(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2} \quad (6.2)$$
- NOTE 2 The dynamic factor  $c_d$  takes into account the increasing effect from vibrations due to turbulence in resonance with the structure and may be obtained from Expression (6.3):
- $$c_d = 1 + 2 \cdot \frac{k_2 \cdot f_1(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot f_1(z_s)} \quad (6.3)$$

NOTE 3 This procedure to be used to determine  $k_2$ ,  $B$  and  $R$  may be given in the National Annex. A recommended procedure is given in Annex B. An alternative procedure is given in Annex C. As an indication to the users the differences in  $c_d$  using Annex C compared to Annex B does not exceed approximately 2%.

NOTE 4 Expression (6.1) shall only be used if all of the following requirements are met:

- the structure corresponds to one of the general shapes shown in Figure 6.1.
- only the along-wind vibration in the fundamental mode is significant, and this mode shape has a constant sign.
- NOTE: The contribution to the response from the second or higher along-wind vibration modes is negligible.

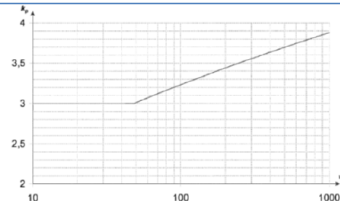


Figure B.2 - Peak factor

$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$  or  $k_p = 3$  whichever is larger

where:

Table F.2 - Approximate values of logarithmic decrement of structural damping in the fundamental mode,  $\delta_s$

Structural type	Structural damping $\delta_s$
reinforced concrete buildings	0.10
steel buildings	0.05
mixed structures concrete + steel	0.08
reinforced concrete towers and chimneys	0.05
unlined welded steel stacks without external thermal insulation	0.012
unlined welded steel stacks with external thermal insulation	0.020
steel stack with one liner with external thermal insulation*	$h/b < 10$ 0.020 $20 \leq h/b \leq 24$ 0.040
steel stack with two or more liners with external thermal insulation**	$h/b \geq 20$ 0.014 $h/b < 10$ 0.020 $20 \leq h/b \leq 24$ 0.040 $h/b \geq 20$ 0.025
steel stack with internal brick liner	0.070
steel stack with internal gunite	0.030
coupled stacks without liner	0.015
lined steel stack without liner	0.04
steel + lattice steel towers	welded 0.02 high resistance bolts 0.03 ordinary bolts 0.05
composite bridges	0.04
concrete bridges	prestressed without cracks 0.04 with cracks 0.10
Timber bridges	0.06 - 0.12
bridges, aluminum alloys	0.02
Bridges, glass or fibre reinforced plastic	0.04 - 0.06
cables	parallel cables 0.066 spiral cables 0.020

### Calculation of the structural factor $c_s \cdot c_d$ - for downwind ( $\alpha=55^\circ$ )

#### Geometrical and mechanical characteristics

$Z_s$	4,450	= Terrain category III
$Z_0$	0,1	(m) reference height of the structure
$Z_{min}$	5	(m)
$V_m$	15	(m/s) mean wind velocity
$\rho$	1,2070	(Kg/m <sup>3</sup> ) air density
$C_f$	1,755	force coefficient for the structure (Section 7)
$C_{g1}$	1	orography factor
Massa del 1° modo	65	(Kg) is the equivalent mass per unit length according to EN 1991-1-4 § F.4.
$I_{vr}$	0,256	turbulence intensity

$I(z) = \frac{0,16}{z} \left( \frac{z}{z_0} \right)^{0,4} \quad \text{for } z \leq z_{min}$   
 $I(z) = \frac{0,16}{z_{min}} \left( \frac{z}{z_{min}} \right)^{0,4} \quad \text{for } z > z_{min}$  (6.7)

where:

- $I$  is the turbulence factor. The value of  $I_0$  may be given in the National Annex. The recommended value for  $I_0$  is 1,0.
- $C_f$  is the orography factor as described in 4.3.3
- $z_0$  is the roughness length, given in Table 4.1

#### Wind turbulence

$L(z)$	38,742	Turbulent length scale
$L_t$	300	m
$L_z$	200	m

$S_L(z, \eta)$	0,0263	non dimensional power spectral density
----------------	--------	--

$T$	0,21	Fundamental period of the structure
-----	------	-------------------------------------

$n$	4,26	natural frequency of the structure in Hz
$f_c(z, n)$	12,299	non dimensionale frequency

#### Calculation of the background factor B - procedure 1 - Annex B

$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,65}}$	0,636	background factor
--	-------	-------------------

$b$	14,432	(m) length tracker - see fig.6.1
$h$	4,432	(m) width tracker - see fig.6.1

#### Calculation of the peak factor $K_p$

$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}$	3,282	(sec) is the averaging time for the mean wind velocity
$T = 600$		
$v = n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$	0,196	is the up-crossing frequency

$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta^2} \cdot S_L(z_s, n_1) \cdot R_k(\eta_b) \cdot R_g(\eta_b)$	0,001	Resonance response factor
--	-------	---------------------------

$\eta_b = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_c(z_s, n_1)$	6,472	
$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_c(z_s, n_1)$	21,075	
$R_b = \frac{1}{\eta_b} \cdot \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_b})$	0,143	
$R_g = \frac{1}{\eta_b} \cdot \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_b})$	0,046	

#### Calculation logarithmic decrement of damping

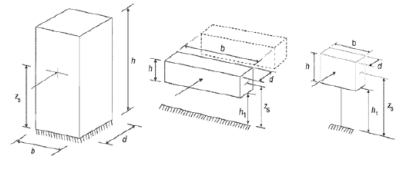
$\delta_s$	0,05	logarithmic decrement of structural damping - Table F.2
$\delta_a = \frac{C_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_b}$	0,74	logarithmic decrement of aerodynamic damping
$\delta_c$	0	when no special device is used.
$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_c$	0,791	logarithmic decrement of damping

#### Structural factor $c_d \cdot c_s$

$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_c(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_c(z_s)}$	<b>0,839</b>	
--	--------------	--

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010  
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

- a) vertical structures such as buildings etc.
- b) parallel oscillator, i.e. horizontal structures such as beams etc.
- c) porridge structures such as signboards etc.



NOTE: Limitations are also given in 1.1 (2)

$$z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{min} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{min} \quad z_s = h_1 + \frac{h}{2} \geq z_{min}$$

#### 6.3.1 Structural factor $c_s \cdot c_d$

(1) The detailed procedure for calculating the structural factor  $c_s \cdot c_d$  is given in Expression (6.1). This procedure can only be used if the conditions given in 6.3.1 (2) apply.

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_c(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_c(z_s)} \quad (6.1)$$

where:

- $z_s$  is the reference height for determining the structural factor, see Figure 6.1. For structures where Figure 6.1 does not apply  $z_s$  may be set equal to  $h$ , the height of the structure.
  - $k_p$  is the peak factor defined as the ratio of the maximum value of the fluctuating part of the response to its standard deviation.
  - $I_c$  is the turbulence intensity defined in 4.4.
  - $B^2$  is the background factor, allowing for the lack of full correlation of the pressure on the structure surface.
  - $R^2$  is the resonance response factor, allowing for turbulence in resonance with the vibration mode.
- NOTE 1: The size factor  $c_s$  takes into account the reduction effect on the wind action due to the non-simultaneity of occurrence of the peak wind pressures on the surface and may be obtained from Expression (6.2):
- $$c_s = \frac{1 - 7 \cdot I_c(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_c(z_s) \cdot \sqrt{B^2}} \quad (6.2)$$
- NOTE 2: The dynamic factor  $c_d$  takes into account the increasing effect from vibrations due to turbulence in resonance with the structure and may be obtained from Expression (6.3):
- $$c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_c(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_c(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}} \quad (6.3)$$
- NOTE 3: This procedure is to be used to determine  $k_p$ ,  $B$  and  $R$  may be given in the National Annex. A recommended procedure is given in Annex B. An alternative procedure is given in Annex C. As an indication to the users the differences in  $k_p$  using Annex C, compared to Annex B, does not exceed approximately 5%.
- NOTE 4: Expression (6.1) shall only be used if all of the following requirements are met:
- the structure corresponds to one of the general shapes shown in Figure 6.1,
  - only the along-wind vibration in the fundamental mode is significant, and this mode shape has a constant sign.
- NOTE: The contribution to the response from the second or higher alongwind vibration modes is negligible.

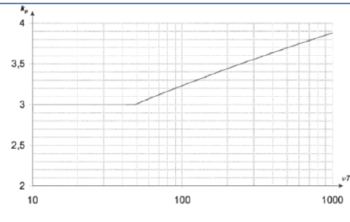



Figure B.2 — Peak factor

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad \text{or } k_p = 3 \text{ whichever is larger}$$

where:

Structural type	structural damping $\delta$
reinforced concrete buildings	0,10
steel buildings	0,05
mixed structures concrete + steel	0,08
reinforced concrete towers and chimneys	0,03
unreinforced steel stacks without external thermal insulation	0,012
unreinforced steel stack with external thermal insulation	0,020
steel stack with one liner with external thermal insulation	$h/b < 10$ 0,020 $20 \cdot h/b \geq 24$ 0,040
steel stack with two or more liners with external thermal insulation*	$h/b \geq 20$ 0,014 $h/b < 10$ 0,020 $20 \cdot h/b \geq 24$ 0,040
steel stack with internal brick liner	$h/b \geq 20$ 0,070 $h/b < 20$ 0,030
coupled stacks without liner	0,015
guyed steel stack without liner	0,04
steel bridges	welded 0,02 + lattice steel towers high resistance bolts 0,03 ordinary bolts 0,04
composite bridges	prestressed without cracks 0,04 with cracks 0,10
concrete bridges	0,06 - 0,12
timber bridges	0,02
bridges, aluminium alloys	0,04 - 0,06
bridges, glass or fibre reinforced plastic	0,06
cables	parallel cables 0,020 spiral cables 0,020

Il coefficiente di pressione  $C_p$  dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	Documento <b>VIA.REL5</b>

Il coefficiente d'attrito  $c_f$  dipende dalla scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Entrambi questi coefficienti, definiti coefficienti aerodinamici, possono essere ricavati da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

La condizione  $\phi=1$  è sostanzialmente diversa da quella prevista per gli edifici in quanto l'eventuale ostruzione può essere offerta anche da elementi che non delimitano completamente e permanentemente lo spazio al di sotto della tettoia.

A valle della massima ostruzione si adotta  $\phi=0$ .

Le azioni aerodinamiche esercitate dal vento sulle tettoie dipendono fortemente dal grado di bloccaggio in quanto la presenza di un'ostruzione, anche soltanto sul lato sottovento, impedisce il passaggio dell'aria al di sotto della tettoia.

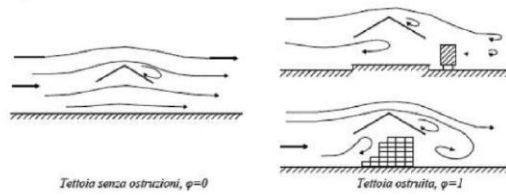


Figura C3.3.20 - Differenze nel flusso dell'aria per tettoie con  $\phi=0$  e  $\phi=1$

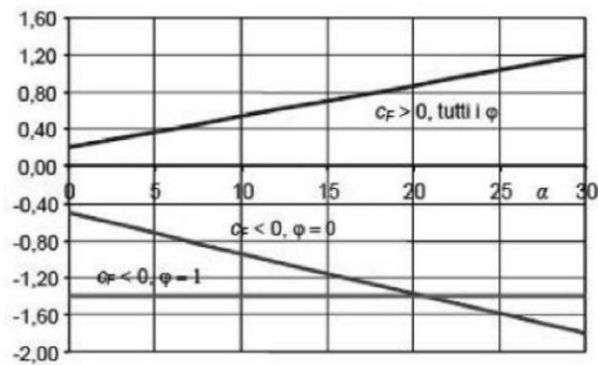


Figura C3.3.21 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda

Tabella C3.3.XV - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda ( $\alpha$  in  $^\circ$ ).


Valori positivi	Tutti i valori di $\phi$	$c_F = +0,2 + \alpha/30$
Valori negativi	$\phi = 0$	$c_F = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30$
	$\phi = 1$	$c_F = -1,4$

**Model A,  $\alpha=0^\circ$**

- $c_{pn,+0^\circ} = 0,2 + \alpha/30 = +0,20$  upwind
- $c_{pn,-0^\circ} = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30 = -0,50$  downwind

**Model B,  $\alpha=30^\circ$**

- $c_{pn,+30^\circ} = 0,2 + \alpha/30 = +1,20$  upwind
- $c_{pn,-30^\circ} = -0,5 - 1,3 \cdot \alpha/30 = -1,80$  downwind

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN          Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	Documento <b>VIA.REL5</b>

Il calcolo della pressione del vento è determinato secondo la Sezione 3.3.4 del D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni, basato sulla seguente espressione:

$$P_{w,\alpha} = q_{r,\alpha} \cdot c_e \cdot c_d \cdot c_{pn,\alpha}$$

Pertanto, le condizioni di carico sono:

**Model A,  $\alpha=0^\circ$**

- $P_{w,+0^\circ} = q_{r,+0^\circ} \cdot c_e \cdot c_s c_d \cdot c_{pn,+0^\circ} = 436 \cdot 1,708 \cdot 0,905 \cdot 0,20 = 135 \text{ N/m}^2 \dots$  (upwind);
- $P_{w,-0^\circ} = q_{r,-0^\circ} \cdot c_e \cdot c_s c_d \cdot c_{pn,-0^\circ} = -436 \cdot 1,708 \cdot 0,886 \cdot 0,5 = -330 \text{ N/m}^2$  (downwind);

**Model B,  $\alpha=30^\circ$**

- $P_{w,+30^\circ} = q_{r,+30^\circ} \cdot c_e \cdot c_s c_d \cdot c_{pn,+30^\circ} = 136 \cdot 1 \cdot 0,847 \cdot 1,20 = 138 \text{ N/m}^2 \dots$  (upwind);
- $P_{w,-30^\circ} = q_{r,-30^\circ} \cdot c_e \cdot c_s c_d \cdot c_{pn,-30^\circ} = -136 \cdot 1 \cdot 0,838 \cdot 1,8 = -205 \text{ N/m}^2 \dots$  (downwind);

**Model C,  $\alpha=55^\circ$**


- $P_{w,+55^\circ} = q_{r,+55^\circ} \cdot c_e \cdot c_s c_d \cdot c_{pn,+55^\circ} = 136 \cdot 1 \cdot 0,843 \cdot 1,410 = 161 \text{ N/m}^2 \dots$  (upwind);
- $P_{w,-55^\circ} = q_{r,-55^\circ} \cdot c_e \cdot c_s c_d \cdot c_{pn,-55^\circ} = -136 \cdot 1 \cdot 0,839 \cdot 1,755 = -200 \text{ N/m}^2$  (downwind);

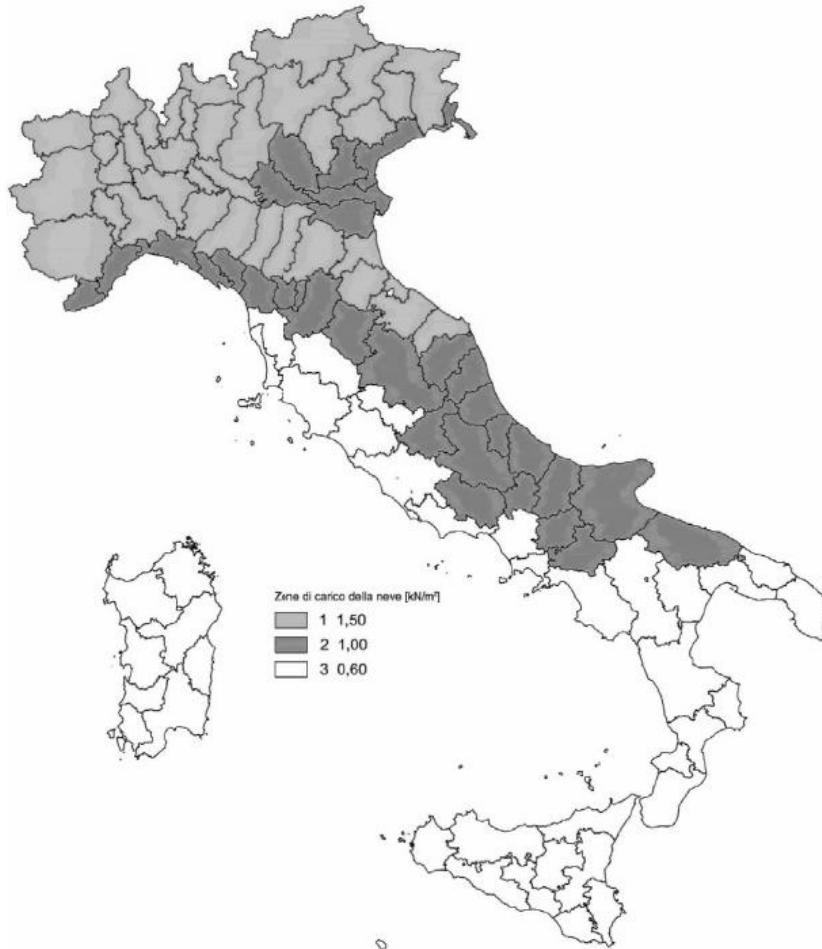
**AZIONE DELLA NEVE**

Il calcolo del carico neve è determinato in base alle indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il carico della neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento della neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni per le varie zone indicate nella Fig. 3.4.1.

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i> <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	<i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b>



Il sito in oggetto è localizzato in zona 3, ad un'altitudine di circa 77 metri sul livello del mare.

#### Zona III


Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo:

$$\begin{aligned}
 q_{sk} &= 0,60 \text{ kN/m}^2 & a_s &\leq 200 \text{ m} \\
 q_{sk} &= 0,51 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 & a_s &> 200 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{3.4.5}$$

Quindi avremo:

$$q_{sk} = 600 \text{ N/m}^2$$

Secondo l'allegato D della EN 1991-1-3: 2003 è possibile utilizzare un coefficiente che tenga conto di un periodo di ritorno diverso da 50 anni. Per un periodo di ritorno pari a 25 anni il carico di neve caratteristiche è

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i> <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	<i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b>

$$q_{sn} = q_{sk} \cdot \left\{ \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0,57722]}{(1 + 2,5923V)} \right\} = q_{sk} \cdot \left\{ \frac{1 - 0,6 \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - 1/25)) + 0,57722]}{(1 + 2,5923 \cdot 0,6)} \right\}$$

$$= 522,7 \text{ N/m}^2$$

I coefficienti di forma delle coperture dipendono dalla forma stessa della copertura e dall'inclinazione sull'orizzontale delle sue parti componenti e dalle condizioni climatiche locali del sito ove sorge la costruzione.

In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione, i valori nominali del coefficiente di forma  $\mu_1$  possono essere ricavati dalla Tab. 3.4.II, essendo  $\alpha$ , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Quindi avremo:


- Model (A) –  $\alpha=0^\circ$   $\mu = 0,8;$
- Model (B) –  $\alpha=30^\circ$   $\mu = 0,8;$
- Model (C) –  $\alpha=55^\circ$   $\mu = \frac{0,8 \cdot (60 - \alpha)}{30} = \frac{0,8 \cdot (60 - 55)}{30} = 0,13;$

La struttura dell'inseguitore non può essere classificata come tetto monoposto standard perché durante un'intera giornata i pannelli ruotano da  $-55^\circ$  a  $+55^\circ$ . Per tutte le configurazioni si presume che la semplificazione utilizzi un coefficiente di forma pari alla media tra i valori riportati per la configurazione principale:

$$\mu = \frac{(0,47 \cdot 25^\circ) + (0,8 \cdot 30^\circ)}{55^\circ} = 0,65$$

#### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione CE tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati di questo coefficiente sono forniti in Tab. 3.4.I per diverse classi di esposizione.

	<i>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</i> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN</i> <i>Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<i>Calcoli preliminari strutture di sostegno</i>	Documento <b>VIA.REL5</b>

Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Si assume

$$c_e = 0,9$$

#### COEFFICIENTE TERMICO

Il coefficiente termico  $c_t$  dovrebbe essere utilizzato per tenere conto della riduzione dei carichi di neve sui tetti con elevata trasmittanza termica.

Secondo il capitolo 3.4.5 del D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni, il valore è:


$$c_t = 1$$

#### CALCOLO CARICO NEVE

Il calcolo del carico neve è determinato secondo il capitolo 3.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni:

$$q_{s,\alpha} = \mu_{i,\alpha} \cdot c_e \cdot c_t \cdot q_{sk}$$

Pertanto, per le tre diverse configurazioni i carichi sono:

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	Documento <b>VIA.REL5</b>

**Model A,  $\alpha=0^\circ$**

$$- q_{s,0^\circ} = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,65 \cdot 0,9 \cdot 522,7 = 305,8 \text{ N/m}^2$$

**Model B,  $\alpha=30^\circ$**

$$- q_{s,30^\circ} = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,65 \cdot 0,9 \cdot 522,7 = 305,8 \text{ N/m}^2$$

**Model C,  $\alpha=55^\circ$**

$$- q_{s,55^\circ} = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,65 \cdot 0,9 \cdot 522,7 = 305,8 \text{ N/m}^2$$

## 5. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Le combinazioni di carico sono determinate secondo D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):


$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

**Tab. 2.6.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.



	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	Documento <b>VIA.REL5</b>

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

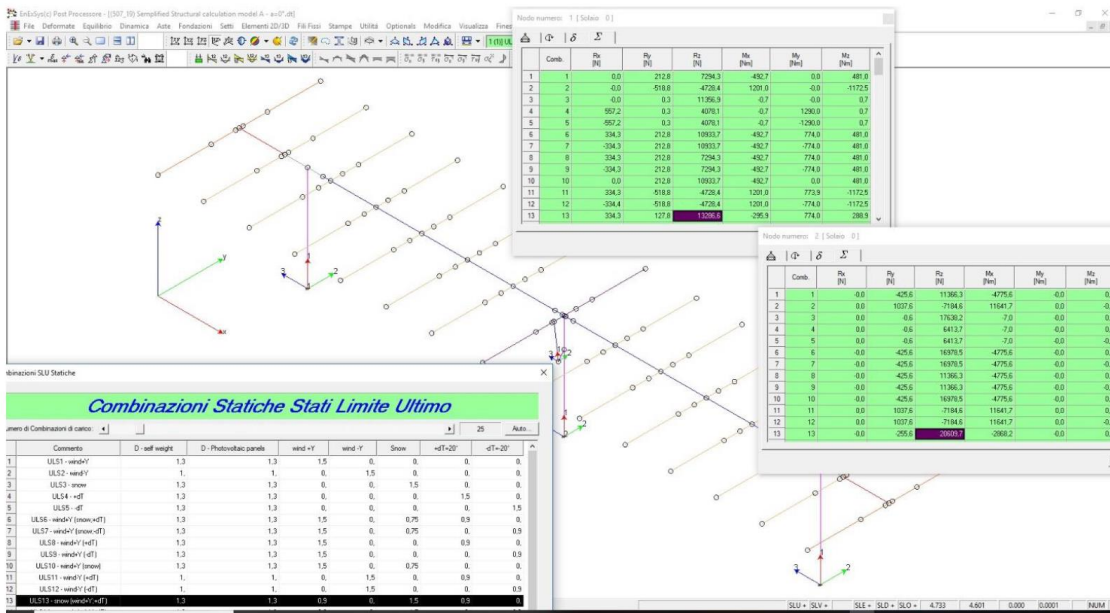
## 6. AZIONI ALLA BASE DEI PALI

I calcoli sono stati effettuati utilizzando un modello ad elementi finiti sviluppato mediante l'uso del software Winstrand (versione 2015-043).

Attraverso l'analisi delle combinazioni di carico sui tre modelli principali, i carichi peggiori da utilizzare durante le prove di estrazione risultano dal modello A.

### MODEL (A) – $\alpha=0^\circ$

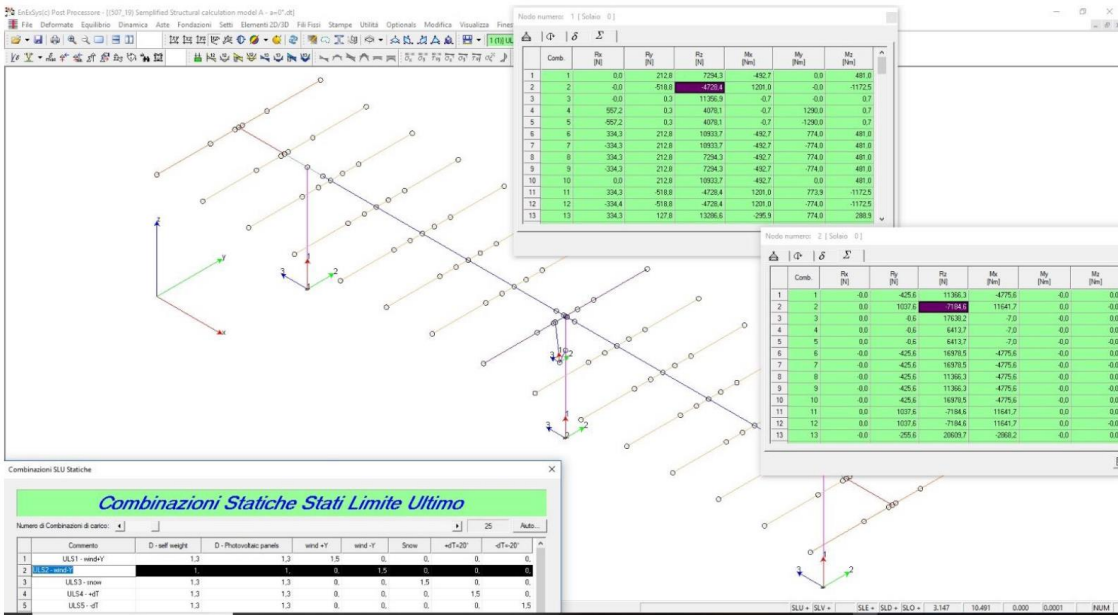
Azione perpendicolare verticale – Compressione



Nmax = 14147,1 N - per i pali laterali


Nmax = 21987 N - per il palo centrale del motore

Azione perpendicolare verticale – Trazione

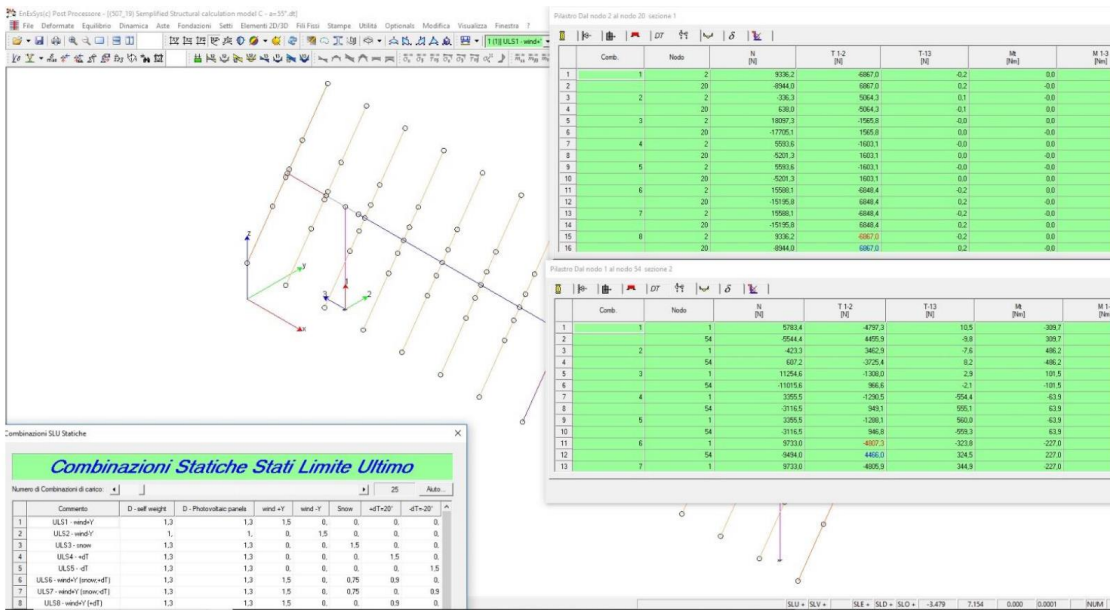


Nmax = -5539,2 N - per i pali laterali

Nmax = -8406 N - per il palo centrale del motore

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino	Documento <b>VIA.REL5</b>
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	

Azione orizzontale



Tmax = 4807 N - per i pali laterali

Tmax = 6867 N - per il palo centrale del motore

Sulla base delle indicazioni NTC-2018, se vengono eseguite solo prove di carico di estrazione (azione perpendicolare verticale - trazione) con un minimo di 5 prove, il carico di progetto deve essere aumentato del coefficiente indicato al paragrafo 6.4.3.1.1.


6.4.3.1.1 Resistenze di pali soggetti a carichi assiali

Il valore di progetto  $R_d$  della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  della Tab. 6.4.II.

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	$\gamma_R$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN  Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	<i>Documento</i> <b>VIA.REL5</b>

(a) Se il valore caratteristico della resistenza a compressione del palo,  $R_{c,k}$ , o a trazione,  $R_{t,k}$ , è dedotto dai corrispondenti valori  $R_{c,m}$  o  $R_{t,m}$  ottenuti elaborando i risultati di una o più prove di carico di progetto, il valore caratteristico della resistenza a compressione e a trazione è pari al minore dei valori ottenuti applicando al valore medio e al valore minimo delle resistenze misurate i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella Tab. 6.4.III, in funzione del numero  $n$  di prove di carico su pali pilota:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{\text{media}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad [6.4.1]$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,m})_{\text{media}}}{\xi_1}, \frac{(R_{t,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad [6.4.2]$$

Tab. 6.4.III - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica a partire dai risultati di prove di carico statico su pali pilota


Numero di prove di carico	1	2	3	4	$\geq 5$
$\xi_1$	1,40	1,30	1,20	1,10	1,0
$\xi_2$	1,40	1,20	1,05	1,00	1,0

Secondo le indicazioni precedentemente riportate, le forze massime che devono essere applicate per le prove di estrazione sono:

Massima azione verticale perpendicolare:

$$N_{\text{max, trac test}} = N_{\text{max, trac}} \times Y_{\text{st}}$$

$$N_{\text{max, trac test}} = -8406 \times 1,25 = 10508 \text{ N} = 1072 \text{ Kg}$$

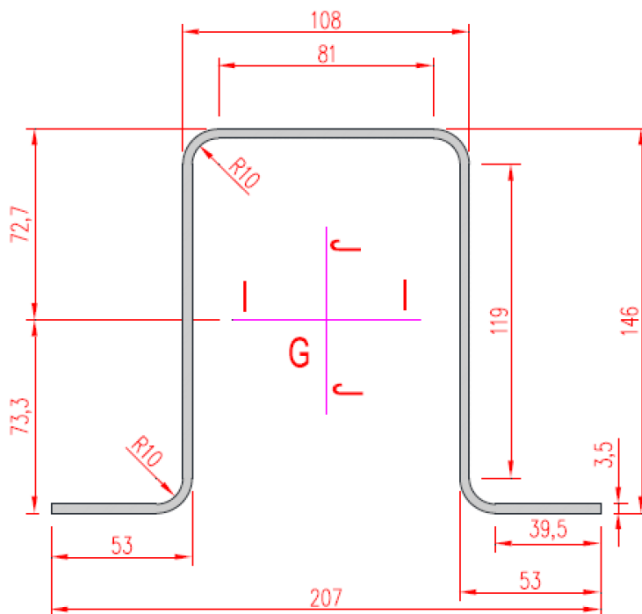
	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> <i>Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN          Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino</i>	
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	Documento <b>VIA.REL5</b>

## 7. CALCOLO DELLA LUNGHEZZA DEI PALI

Questo capitolo analizza i controlli geotecnici sui pali della struttura dell'inseguitore.

Il calcolo della lunghezza del palo nel terreno viene effettuato con il software GEOSTRU MP,

Le dimensioni geometriche del palo sono:




### *Inertia Characteristics (dimensions in mm)*

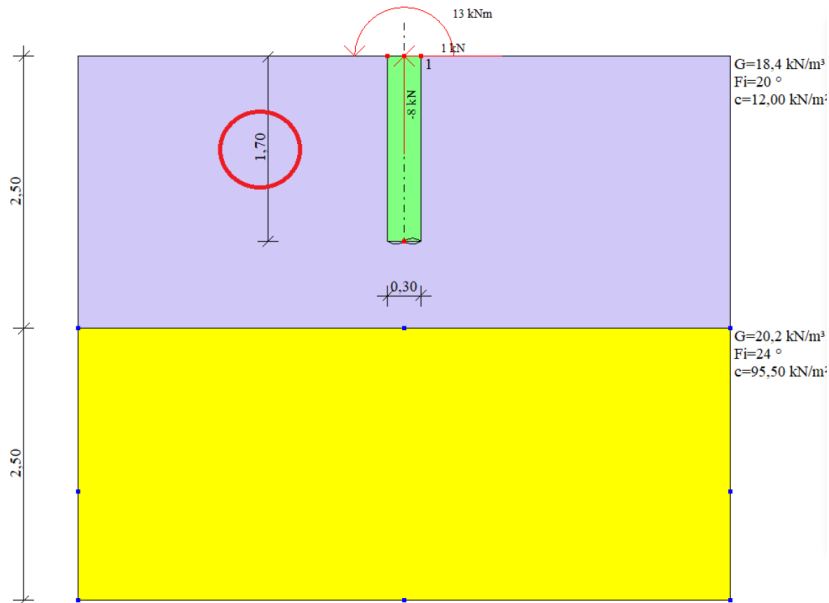
- Area:.....1651.3960
- Perimeter:.....950.6549
- Barycenter: X: 0.0000/ Y: 0.0000
- Moments of inertia: X: 4991037.7770 / Y: 5118921.7495
- Products of inertia: .....XY: 0.0000
- Main moments and direction X-Y compared to the barycenter:
  - I: 4991037.7770 lungo [1.0000 0.0000]
  - J: 5118921.7495 lungo [0.0000 1.0000]

Per il calcolo del carico della resistenza del palo di carico, si inserisce nel software il diametro equivalente:

$$D_{eq} = 951/\pi = 303mm \cong 300mm$$

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino	Documento <b>VIA.REL5</b>
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	

**DESIGN RESISTANCE TO AXIAL LOADS – combination with  $N_{max} = -8,406 \text{ kN}$**




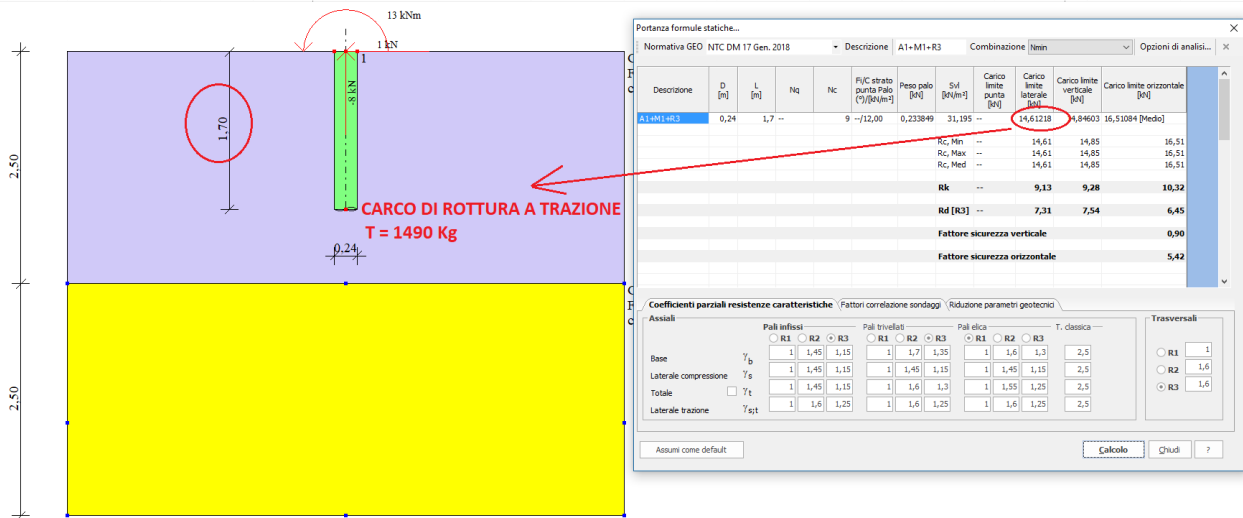
Descrizione	D [m]	L [m]	Nq	Nc	F <sub>i</sub> /C strato punta Palo (°)/[kN/m²]	Peso palo [kN]	S <sub>vl</sub> [kN/m²]	Carico limite punta [kN]	Carico limite laterale [kN]	Carico limite verticale [kN]	Carico limite orizzontale [kN]
A1+M1+R3	0,303	1,7	--	9	-/12,00	0,233849	31,195	--	18,44787	18,68172	17,12693 [Medio]
									Rc, Min	18,45	18,68
									Rc, Max	18,45	18,68
									Rc, Med	18,45	18,68
									Rk	11,53	11,68
									Rd [R3]	9,22	9,46
									Fattore sicurezza verticale		1,13
									Fattore sicurezza orizzontale		5,62

La lunghezza calcolata è:

$$L_{emb} = 1700 \text{ mm.}$$

Al fine di utilizzare la stessa lunghezza di inclinazione del progetto e ottenere lo stesso fattore di sicurezza, è stato deciso di utilizzare un test di carico di estrazione aumentato per ottenere risultati coerenti

	<b>GRANATO NEW ENERGY S.R.L.</b> Impianto fotovoltaico a terra della potenza nominale di 50,501 MWp connesso alla RTN Regione Sicilia – Provincia di Enna – Comune di Enna – Località Scioltabino	Documento <b>VIA.REL5</b>
	<b>Calcoli preliminari strutture di sostegno</b>	



Pertanto, la lunghezza di inclinazione calcolata è  $L_{emb} = 1700 \text{ mm}$  e l'equivalente della massima azione perpendicolare verticale (trazione) è  $N_{max, trac. test} = 1490 \text{ kg}$  ( $\gg N_{max, trac. test} = 1072 \text{ kg}$ ).