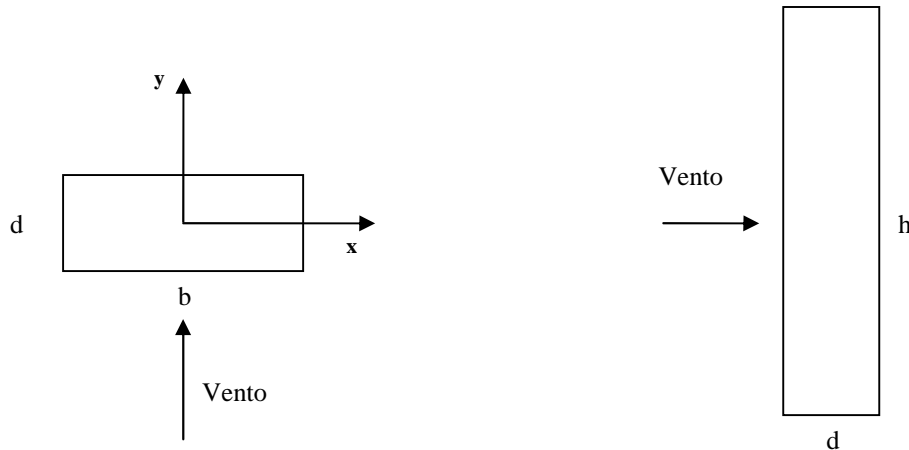


Carichi variabili di origine ambientale: il vento

L'azione del vento si considera agente in direzione orizzontale secondo uno degli assi principali della struttura.

Chiamiamo x ed y gli assi principali locali di un edificio che ipotizziamo a pianta rettangolare di lati b e d e altezza h . Consideriamo ad esempio che il vento agisca secondo l'asse delle y .



La parete b dell'edificio in questione viene investita dal vento e su questa il vento stesso viene rallentato creando una sovrappressione; contemporaneamente viene deviato ed accelerato dalle pareti laterali e dal tetto generando sacche di vuoto che esercitano sulle pareti sottovento delle depressioni. Quanto maggiore è l'accelerazione del vento tanto maggiori saranno le depressioni da questo prodotte. La sovrappressione sulle facciate tende ad essere massima nella zona centrale e a diminuire verso i margini; le depressioni invece sono maggiori in corrispondenza degli spigoli e lungo i bordi delle pareti. Questo fenomeno è trattato nell'Eurocodice 1 che individua zone delle pareti di un edificio con diverso coefficiente aerodinamico.

L'azione del vento dipende dalla caratterizzazione del sito dove sorge l'edificio, dalla definizione del periodo di ritorno, dalle dimensioni e dalla forma dell'edificio stesso.

Nel nostro studio considereremo un edificio a pianta rettangolare di dimensioni $48 \times 9,6 \text{ m}^2$ e altezza pari a $26,4 \text{ m}$, sito in Sardegna, Cagliari nella zona 5 (Sardegna zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena).

Illustreremo il procedimento per la valutazione delle azioni statiche del vento sulle strutture secondo il D.M. 4/02/2008 Norme tecniche per le costruzioni. G.U. n°29 del 4/02/2008 (par.3.3) e secondo l'Eurocodice 1 (UNI ENV 1991-2-49). Calcoleremo il valore della pressione normale esercitata dal vento sulle pareti dell'edificio.

Riassumendo le azioni statiche del vento sono date da pressioni e depressioni agenti normalmente

sulle superfici esterne degli elementi che compongono la struttura. Nel caso di strutture o elementi di grande estensione, si deve tener conto delle azione tangenziale esercitata dal vento.

Quest'ultima dipende in modo significativo dalla scabrezza superficiale del rivestimento, per rivestimenti lisci la forza tangenziale è trascurabile perché di bassa intensità avendo il coefficiente d'attrito pari a 0,01.

Azione del vento secondo il D.M. 04/02/2008 Norme tecniche per le costruzioni. G.U. n°29 del 4/02/2008

Pressione del vento sulle pareti esterne dell'edificio.

La pressione normale esercitata dal vento su una superficie esterna espressa in N/m^2 (assunta positiva se diretta come normale entrante nella superficie, negativa se diretta come normale uscente) è data da:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

dove :

q_b = pressione cinetica di riferimento;

c_d = coefficiente dinamico;

c_e = coefficiente di esposizione;

c_p = coefficiente di forma che ricaveremo dall'Eurocodice 1.

Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento è data da:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad \text{in } N/m^2$$

dove:

v_b = velocità di riferimento del vento in m/s;

ρ = densità di riferimento dell'aria pari a $1,25 \text{ Kg/m}^3$.

La velocità di riferimento del vento v_b , per località poste a quota inferiore di 1500 m sul livello del mare, è data da:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + K_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_s > a_0$$

$a_s =$ altitudine sul livello del mare in metri del sito dove sorge la costruzione.

I valori di $v_{ref,0}$, a_s , K_a sono dati dalla normativa.

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ (m/s)	a_0 (m)	K_a (1/s)
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0.010
2	Emilia Romagna	25	750	0.015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0.020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola della Maddalena)	28	750	0.015
6	Sardegna (zona ad Occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola della Maddalena)	28	500	0.020
7	Liguria	28	1000	0.015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0.010
9	Isole (con eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0.020

Per la Sardegna (zona ad oriente) la velocità di riferimento del vento è:

$$v_b = 28 \quad \text{per } a_s \leq 500 \text{ m}$$

$$v_b = 28 + 0,015 (a_s - 750) \quad \text{per } a_s > 500 \text{ m}$$

Consideriamo un'altitudine sul livello del mare inferiore ai 500m.

La pressione cinetica di picco q si può esprimere in funzione della velocità di riferimento:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = 490 \text{ N/m}^2$$

Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione $c_e(z)$ è dato dalla seguente equazione:

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

$$c_e(z) = c_{ev}(z_{min}) \quad \text{per } z \leq z_{min}$$

dove z è la quota sul suolo mentre il coefficiente di topografia c_t e i coefficienti z_0 , z_{min} , K devono essere individuati come qui seguito descritto.

Il coefficiente di topografia è di regola posto pari a 1 ma nel caso di costruzioni ubicate presso la sommità di colline o lungo i pendii isolati il coefficiente di topografia deve essere valutato con le indicazioni da normativa o con analisi più approfondite.

I coefficienti z_0 , z_{min} , K sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito, dipendente dalla zona di esposizione e dalla classe di rugosità del terreno.

La classe di rugosità del terreno si individua secondo il seguente schema:

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 15m
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	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi....)

Nel nostro caso verrà assegnata la classe A.

Classe di rugosità del terreno	Categoria di esposizione (in zona 5)	
	mare	categoria
A	entro i 10 km dalla costa	IV

Individuata la categoria di esposizione si ottengono infine i coefficienti necessari nella seguente tabella:

Categoria di esposizione del sito	Kr	z0(m)	zmin(m)
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,2	0,1	5
IV	0,22	0,3	8
V	0,23	0,7	12

Nel nostro caso siamo nella categoria di esposizione IV.

Valutazione dei coefficienti di pressione del vento

Valutazione del coefficiente dinamico.

Il coefficiente dinamico tiene in conto di:

- Effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali;
- Effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali.

Il coefficiente dinamico è da valutare secondo la geometria e il materiale costituente la struttura portante (rigidezza). Se c_d ha valore maggiore di 1 è suggerita un'analisi più approfondita; se è minore di 1,2 è indispensabile un'analisi più approfondita.

Nel nostro esempio utilizzeremo c_d pari a 1.

Coefficiente di pressione esterna (EUROCODICE 1 paragrafo10).

Valori del coefficiente di pressione esterna per pareti verticali di edifici a pianta rettangolare.

L'edificio in questione misura in pianta $48 \times 9,6\text{m}^2$; l'altezza totale è 26,4m.

Il vento si considera agente in direzione orizzontale, di regola secondo uno degli assi principali della struttura.

Ipotizziamo dapprima che la direzione del vento risulti ortogonale al lato di 9,6m. Successivamente faremo l'ipotesi inversa cioè che la direzione del vento sia ortogonale al lato di 48m.

Nell'Eurocodice 1 il lato ortogonale alla direzione del vento viene indicato con la lettera b, l'altro lato invece con la lettera d.

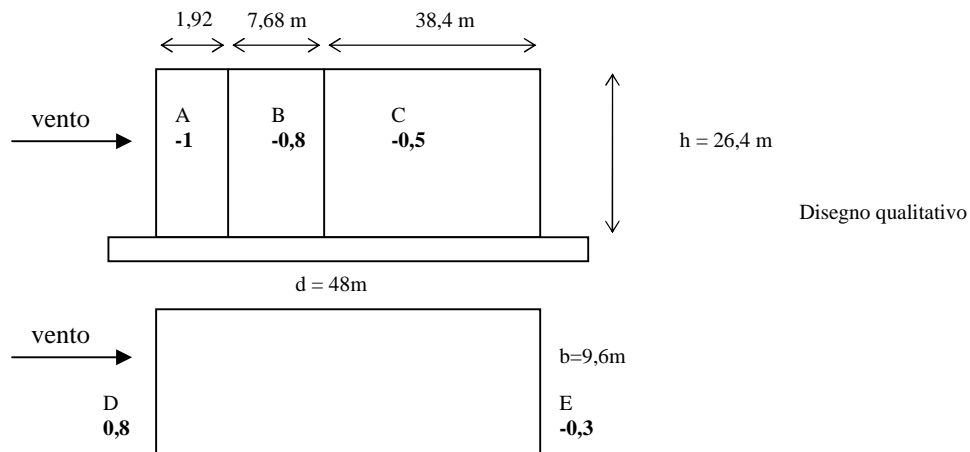
1° caso

$b = 9,6\text{m}$, $d = 48\text{m}$, $h = 26,4\text{m}$.

Coefficienti della pressione esterna per muri verticali di edifici con pianta rettangolare.

In questo caso il rapporto d/h è pari a 1,8, i valori intermedi si possono calcolare per interpolazione lineare.

Zona	A		B,B*		C		D		E	
d/h	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≤ 1	-1	-1,3	-0,8	-1	-0,5	-0,5	0,8	1	-0,3	-0,3
≥ 4	-1	-1,3	-0,8	-1	-0,5	-0,5	0,6	1	-0,3	-0,3



Nel nostro 1° caso $d > e$

$e = b$ o $2h$ a seconda di quale sia il più piccolo nel nostro caso $e = 9,6\text{ m}$

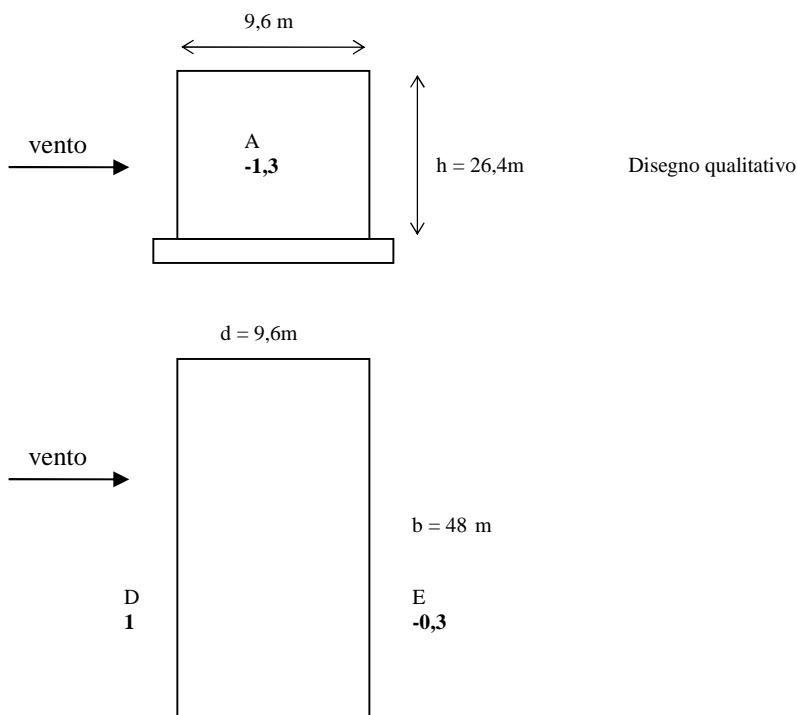
2° caso

$b = 48\text{m}$, $d = 9,6\text{m}$, $h = 26,4\text{m}$.

Coefficienti della pressione esterna per muri verticali di edifici con pianta rettangolare.

In questo caso il rapporto d/h è pari a 0,36; considereremo nella tabella la prima riga.

Zona	A		B,B*		C		D		E	
d/h	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≤ 1	-1	-1,3	-0,8	-1	-0,5	-0,5	0,8	1	-0,3	-0,3
≥ 4	-1	-1,3	-0,8	-1	-0,5	-0,5	0,6	1	-0,3	-0,3



Nel nostro 2° caso $d < e$

$e = b$ o $2h$ a seconda di quale sia il più piccolo nel nostro caso $e = 48$ m

PRIMO CASO $b = 9,6$ m $d = 48$ m $h = 26,4$ m

z(m)	qref (N/m ²)	cr(z)	ce(z)	A (cpe,1 = -1)	B (cpe,1 = -0,8)	C(cpe,1 = -0,5)	D (cpe,1 = +0,8)	E (cpe,1 = -0,3)
				p pressione esterna KN/m ²				
0.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
1.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
2.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
3.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
4.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
5.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
6.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
7.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
8.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	-0.641	-0.400	0.641	-0.240
9.0	490.000	0.748	1.712	-0.839	-0.671	-0.419	0.671	-0.252
10.0	490.000	0.771	1.783	-0.874	-0.699	-0.437	0.699	-0.262
11.0	490.000	0.792	1.848	-0.906	-0.725	-0.453	0.725	-0.272
12.0	490.000	0.812	1.908	-0.935	-0.748	-0.468	0.748	-0.281
13.0	490.000	0.829	1.964	-0.963	-0.770	-0.481	0.770	-0.289
14.0	490.000	0.845	2.017	-0.988	-0.791	-0.494	0.791	-0.296
15.0	490.000	0.861	2.066	-1.012	-0.810	-0.506	0.810	-0.304
16.0	490.000	0.875	2.113	-1.035	-0.828	-0.518	0.828	-0.311
17.0	490.000	0.888	2.157	-1.057	-0.845	-0.528	0.845	-0.317
18.0	490.000	0.901	2.199	-1.077	-0.862	-0.539	0.862	-0.323
19.0	490.000	0.913	2.238	-1.097	-0.877	-0.548	0.877	-0.329
20.0	490.000	0.924	2.277	-1.115	-0.892	-0.558	0.892	-0.335
21.0	490.000	0.935	2.313	-1.133	-0.907	-0.567	0.907	-0.340
22.0	490.000	0.945	2.348	-1.151	-0.920	-0.575	0.920	-0.345

23.0	490.000	0.955	2.382	-1.167	-0.934	-0.583	0.934	-0.350
24.0	490.000	0.964	2.414	-1.183	-0.946	-0.591	0.946	-0.355
25.0	490.000	0.973	2.445	-1.198	-0.959	-0.599	0.959	-0.359
26.0	490.000	0.982	2.475	-1.213	-0.970	-0.606	0.970	-0.364
26.4	490.000	0.985	2.487	-1.219	-0.975	-0.609	0.975	-0.366

SECONDO CASO $b=48m$ $d=9,6m$ $h=26,4m$

z(m)	qref (N/m ²)	cr(z)	ce(z)	A (cpe,1 = -1)	D (cpe,1 = +0,8)	E (cpe,1 = -0,3)
				p pressione esterna KN/m ²		
0.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
1.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
2.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
3.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
4.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
5.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
6.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
7.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
8.0	490.000	0.722	1.634	-0.801	0.641	-0.240
9.0	490.000	0.748	1.712	-0.839	0.671	-0.252
10.0	490.000	0.771	1.783	-0.874	0.699	-0.262
11.0	490.000	0.792	1.848	-0.906	0.725	-0.272
12.0	490.000	0.812	1.908	-0.935	0.748	-0.281
13.0	490.000	0.829	1.964	-0.963	0.770	-0.289
14.0	490.000	0.845	2.017	-0.988	0.791	-0.296
15.0	490.000	0.861	2.066	-1.012	0.810	-0.304
16.0	490.000	0.875	2.113	-1.035	0.828	-0.311
17.0	490.000	0.888	2.157	-1.057	0.845	-0.317
18.0	490.000	0.901	2.199	-1.077	0.862	-0.323
19.0	490.000	0.913	2.238	-1.097	0.877	-0.329
20.0	490.000	0.924	2.277	-1.115	0.892	-0.335
21.0	490.000	0.935	2.313	-1.133	0.907	-0.340
22.0	490.000	0.945	2.348	-1.151	0.920	-0.345
23.0	490.000	0.955	2.382	-1.167	0.934	-0.350
24.0	490.000	0.964	2.414	-1.183	0.946	-0.355
25.0	490.000	0.973	2.445	-1.198	0.959	-0.359
26.0	490.000	0.982	2.475	-1.213	0.970	-0.364
26.4	490.000	0.985	2.487	-1.219	0.975	-0.366