

Calcolo dell'azione del vento su tettoie e pensiline

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Nel caso di strutture leggere, flessibili e di forma o tipologia inusuale, gli spostamenti e le velocità strutturali sono talvolta così grandi da provocare fenomeni d'interazione vento-struttura che modificano le azioni aerodinamiche e la risposta. In questi casi la valutazione delle azioni dovute al vento richiede l'uso di metodologie di calcolo adeguate allo stato dell'arte.

Tuttavia, per le costruzioni usuali, le azioni del vento sono convenzionalmente ricondotte alle **azioni statiche** equivalenti definite al § 3.3.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni relative al DM 20.02.2018.

Le azioni statiche del vento sono **pressioni e depressioni** agenti sulle superfici, esterne e interne, degli elementi. Inoltre, per costruzioni o elementi di grande estensione, si deve tener conto anche delle **azioni tangenziali** prodotte dal vento.

I valori di progetto della pressione del vento dipendono da vari fattori quali da densità dell'aria, posizione geografica, altitudine sul livello del mare del sito, rugosità, dalla topografia, altezza e forma dell'edificio e periodo di ritorno.

La valutazione della **pressione del vento** si basa sulla definizione di:

- velocità base di riferimento v_b , funzione della posizione geografica e dell'altitudine sul livello del mare della costruzione, definita al §3.3.1 delle NTC 2018;
- velocità di riferimento v_r , funzione del periodo di ritorno di progetto T_R definita al §3.3.2 delle NTC 2018;
- pressione cinetica di riferimento q_r definita al §3.3.6 delle NTC 2018;
- coefficiente di esposizione c_e funzione della categoria di esposizione e della rugosità del terreno nel sito;
- coefficiente di topografia c_t ;
- coefficiente aerodinamico c_p (o coefficiente di forma), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;
- coefficiente dinamico c_d , tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

La pressione del vento è quindi data dall'espressione 3.3.4 delle NTC 2018:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Indicazioni sulla valutazione dei coefficienti c_e , c_p e c_d sono riportate nello specifico nei paragrafi C.3.3.7-C.3.3.9 della Circolare applicativa 2019.

L'azione tangente del vento per unità di superficie **parallela alla direzione del vento** è data dall'espressione 3.3.5 delle NTC 2018:

$$p_t = q_r \cdot c_e \cdot c_f$$

dove c_f è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Novità introdotte nella Circolare esplicativa n.7 del 2019

Nella Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21.01.2019, la stima dei **coefficienti aerodinamici** c_p , contiene **sostanziali differenze** rispetto alla Circolare n.617 del 2009.

Nel documento, infatti, sono presenti diverse metodologie per ricavare i coefficienti aerodinamici definendoli in funzione di svariati fattori e differenziandoli per varie tipologie edilizie:

- edifici con pianta rettangolare con copertura piana, a falde, inclinate o curvilinee. (C3.3.8.1);
- tettoie (C3.3.8.2);
- pareti verticali di edifici a pianta circolare (C3.3.8.3);
- coperture sferiche di edifici a pianta circolare (C3.3.8.4);
- travi (C3.3.8.6);
- torri e pali a traliccio (C3.3.8.7).

In particolare i coefficienti aerodinamici sono definiti in funzione dalla direzione del vento (ortogonale o parallela) e delle dimensioni e della geometria dell'elemento. Inoltre, la trattazione è differenziata per: coperture piane (C3.3.8.1.2), a falda singola (C3.3.8.1.3), a falda doppia (C3.3.8.1.4), a padiglione (C3.3.8.1.5), a falde multiple (C3.3.8.1.6) e a volta cilindrica (C3.3.8.1.7).

Nella nuova Circolare, i suddetti coefficienti vengono differenziati in coefficienti aerodinamici globali e locali. Difatti l'analisi dell'azione aerodinamica del vento può essere effettuata in maniera **semplificata** attraverso l'utilizzo del **coefficiente globale** c_{pe} . Tale coefficiente fa riferimento ad azioni globali su estese porzioni di costruzioni o per il calcolo delle risultanti delle azioni indotte dal vento sugli elementi principali della struttura.

Tuttavia, mentre nella Circolare n.617 del 2009 i valori dei coefficienti globali erano dipendenti esclusivamente dall'inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie, nella Circolare n.7 del 2019 i coefficienti globali sono funzione delle dimensioni della parete e della posizione rispetto alla direzione del vento (sopravento, sottovento e laterali), i cui valori sono diagrammati in base al rapporto tra l'altezza e la profondità dell'edificio.

La principale novità del paragrafo è l'introduzione di due coefficienti locali $c_{pe,10}$ e $c_{pe,1}$ (da impiegare in alternativa ai coefficienti globali).

- Il coefficiente locale $c_{pe,10}$ quantifica la pressione locale agente sugli elementi con area di incidenza maggiore o uguale a **10 mq**;
- Il coefficiente di dettaglio $c_{pe,1}$, quantifica la pressione locale agente sugli elementi con aree di incidenza minori o uguali a **1 mq**.

Nella Circolare sono riportati dettagliatamente i metodi per ricavare le tre tipologie di coefficienti aerodinamici relativi a edifici a pianta rettangolare, a pianta circolare, con copertura piana, a falda, inclinata, a volta, sferica, ecc.

Ulteriori novità sono rappresentate dalla trattazione dei **coefficienti di pressione relativi alle pareti verticali di edifici a pianta rettangolare** (C.3.3.8.1.1) e del concetto di altezza di riferimento per le facciate sopravento (C3.3.8.1.1.1). In particolare, cambiano i coefficienti delle equazioni che definiscono i c_{pe} (Figura 1) e la definizione dei coefficienti di pressione interna c_{pi} i quali, per aperture sulle facce <30% della superficie, vengono ricondotti a quelli delle tettoie.

Inoltre, viene introdotto per la prima volta il concetto di altezza di riferimento, ereditato dalla **CNR DT 207/2008**.

Il paragrafo C3.3.8.1.1.1 fornisce un criterio di valutazione dell'altezza di riferimento per la faccia sopravvento, ossia della quota a cui si deve calcolare la pressione cinetica di picco, tale da condurre a stime approssimate, generalmente a favore di sicurezza, della risultante di tali pressioni. Mentre nel paragrafo C3.3.8.1.1.2 l'altezza di riferimento per la faccia sottovento e per le facce laterali degli edifici può essere considerata, con buona approssimazione, costante con la quota.

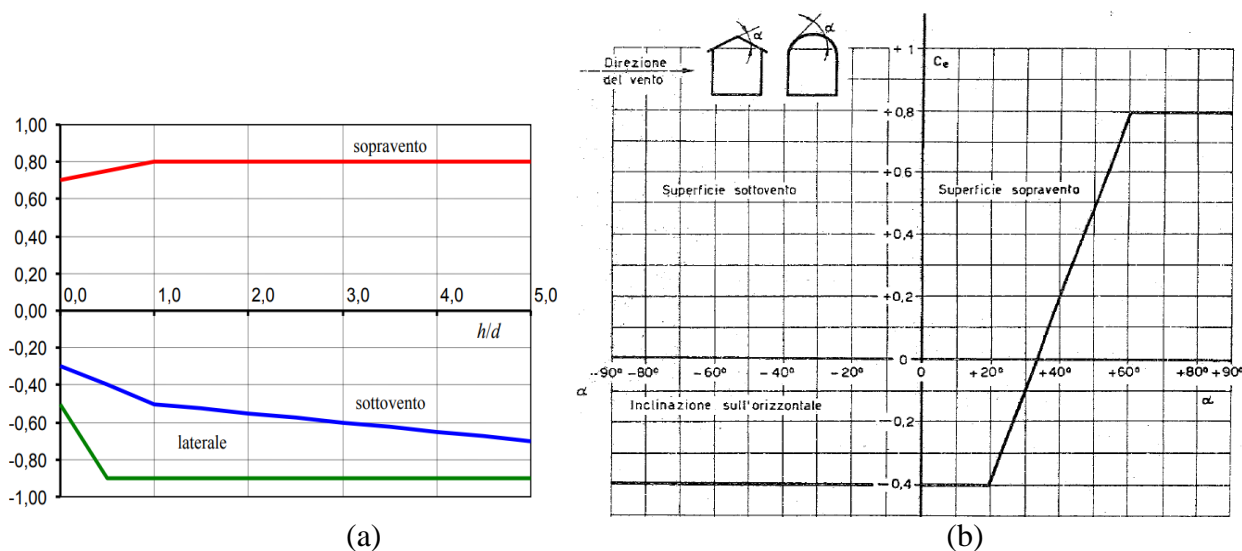


Figura 1- Valutazione dei coefficienti c_{pe} per pareti verticali secondo (a) Circolare n.7 del 2019 e (b) Circolare n.617 del 2009.

Azione del vento sulle tettoie

Al paragrafo C3.3.8.2, vengono forniti i criteri per valutare le azioni globali del vento sulle coperture in cui lo spazio sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti.

Tra le novità della circolare vi è la differenziazione tra **tettoie a falda singola, doppia o multipla**.

In tale paragrafo l'azione del vento sulle tettoie è schematizzata attraverso forze **F risultanti** dal campo di pressioni sulla superficie della falda della tettoia, dirette ortogonalmente ad essa. Tali forze sono quantificate dal prodotto tra la pressione cinetica, i coefficienti di forza (**cf**), la superficie della falda in esame e sono applicate in punti diversi a seconda della tipologia di tettoia.

Nella Circolare n.617 del 2009, i coefficienti aerodinamici di tettoie e pensiline erano funzione dell'angolo di inclinazione della falda e i casi di carico erano solamente sovrappressione o depressione.

Nella nuova Circolare i **casi di carico aumentano** considerevolmente rispetto alla precedente a causa dell'introduzione del **coefficiente di bloccaggio Φ** definito come il rapporto tra l'area esposta al vento di un eventuale **ostruzione** presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia (Figura 2). Tale coefficiente è riportato nel testo con carattere greco maiuscolo, indicandolo però nelle figure in minuscolo, contrariamente a quanto riportato nella CNR DT 207/2008, da cui si sono mutate le immagini, in cui il coefficiente è riportato sempre in forma minuscola.

Si identificano due situazioni limite:

- $\Phi=0$ assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia;
- $\Phi=1$ spazio al di sotto della tettoia completamente ostruito.

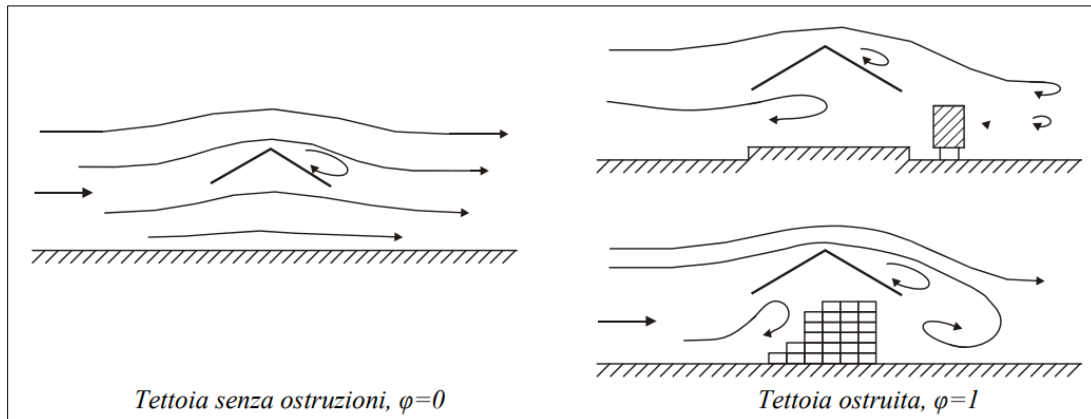


Figura 2 - Differenze di flusso d'aria per tettoie con $\Phi=0$ e $\Phi=1$

È importante osservare che 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.

Nella Figura 3 si mostra come il coefficiente di forza c_F dipenda dal grado di bloccaggio e dall'inclinazione della falda.

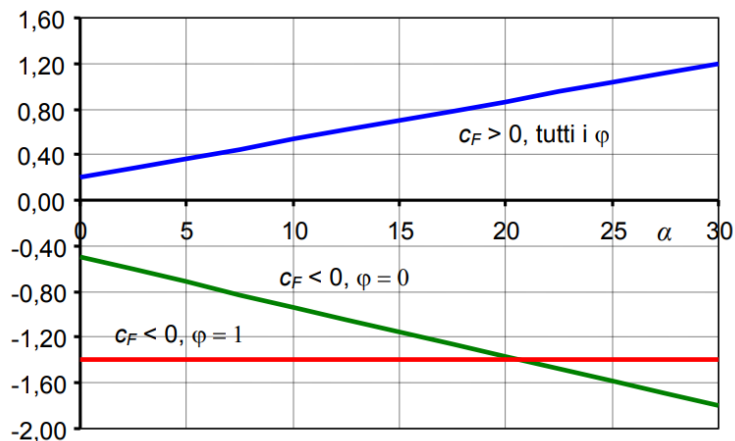


Figura 3 - Coefficiente di forza per tettoia a semplice falda (figura C3.3.21 della circolare esplicativa n.7 del 2019)

Una volta calcolata la forza risultante $F = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_F$, essa si considererà agente simultaneamente su entrambe le falde oppure soltanto su una di esse a seconda della tipologia.

Inoltre, per il calcolo della tettoia, la circolare raccomanda che si considerino le condizioni di carico più gravose.

Applicazione del vento su tettoia ad una falda con Sismicad

Sulla base di quanto indicato dalla Circolare n.7 del 2019, nel presente paragrafo si mostra un'applicazione del calcolo del contributo del vento su una tettoia in acciaio di altezza massima 3.50 m e luce massima 4.40 m. Si utilizza il **software di calcolo Sismicad** e si consiglia una procedura atta a portare in conto quanto suggerisce la Circolare n.7 del 2019 al §C3.3.8.2.1.

La circolare suggerisce di considerare le condizioni di carico **più gravose** tra quelle riportate in Figura 4, dove la forza risultante è $F = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_F$.

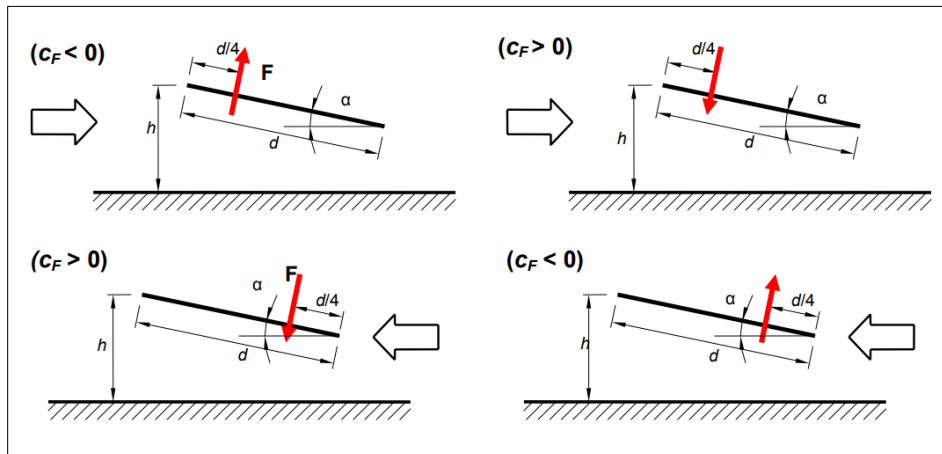


Figura 4 - Tettoie a semplice falda: posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza

Ciò comporta la definizione delle **condizioni di carico** in Figura 5 con le ovvie complicazioni dovute all'elevato numero di combinazioni che ne derivano.

	Descrizione	Durata	ψ_0	ψ_1	ψ_2
► 1	Pesi strutturali	Permanente			
2	Neve	Media	0,5	0,2	0
3	V+X (CF<0; fi=0)	Istantanea	0,6	0,2	0
4	V+X (CF<0; fi=1)	Istantanea	0,6	0,2	0
5	V+X (CF>0; fi qualunque)	Istantanea	0,6	0,2	0
6	V-X (CF<0; fi=0)	Istantanea	0,6	0,2	0
7	V-X (CF<0; fi=1)	Istantanea	0,6	0,2	0
8	V-X (CF>0; fi qualunque)	Istantanea	0,6	0,2	0
9	V+Y (CF<0; fi=0)	Istantanea	0,6	0,2	0
10	V+Y (CF<0; fi=1)	Istantanea	0,6	0,2	0
11	V+Y (CF>0; fi qualunque)	Istantanea	0,6	0,2	0
12	V-Y (CF<0; fi=0)	Istantanea	0,6	0,2	0
13	V-Y (CF<0; fi=1)	Istantanea	0,6	0,2	0
14	V-Y (CF>0; fi qualunque)	Istantanea	0,6	0,2	0
15	ΔT	Media	0,6	0,5	0
16	Sisma X SLV				
17	Sisma Y SLV				
18	Sisma Z SLV				
19	Eccentricità Y per sisma X S				
20	Eccentricità X per sisma Y S				
21	Sisma X SLD				
22	Sisma Y SLD				
23	Sisma Z SLD				
24	Eccentricità Y per sisma X S				
25	Eccentricità X per sisma Y S				
26	Rig. Ux				
27	Rig. Uy				
28	Rig. Rz				

Figura 5 – Condizioni di carico

Osservazione

Si fa notare che, nell'esempio riportato, si è intenzionalmente inserito l'intero numero di condizioni di carico, benché sia sufficiente considerare solo quelle più gravose. Si è voluto mettere in evidenza in tal modo il notevole aggravio di combinazioni di carico che un tale modo operandi comporterebbe, sottolineando il fatto che è consigliabile un'analisi preliminare che discrimini le condizioni di carico strettamente necessarie alla completa definizione ingegneristica del problema.

Procedura

Per quanto riguarda le “modalità” di applicazione della forza risultante F che ne deriva, si sottolinea che al momento non esiste uno strumento dedicato a tale scopo, pertanto la scelta deve ricadere sugli strumenti disponibili.

A tal proposito un'idea potrebbe essere quella di utilizzare i **carichi superficiali**, definendo opportunamente la loro **estensione** e **posizione**. In tal modo è possibile definire in maniera più rapida il carico con andamento “normale alla superficie” della falda inclinata.

Altra possibilità potrebbe essere quella di definire dei **carichi concentrati** da applicare sui singoli arcarecci, ma in tal caso non è possibile definire automaticamente il verso “normale alla superficie” ma è necessario scomporre la risultante nelle sue componenti in funzione dell'angolo di inclinazione della falda stessa.

Sta ovviamente al progettista la scelta di quale sia la miglior modellazione, previa verifica e controllo della bontà della stessa.

Nell'esempio proposto, relativo ad una semplice tettoia ad una falda inclinata, si è scelto di procedere utilizzando i **carichi superficiali**.

Definita la struttura portante si inseriscono i carichi di superficie opportunamente definiti:

- il carico superficiale “Tetto” relativo al peso del manto di copertura e della neve (Figura 6);

- i carichi relativi alle **12 condizioni da vento** (Figura 7) posizionati a **distanza $d/4$** come indicato in Figura 4:

- 3 condizioni per vento in +X: “Copertura Vento +X”;
- 3 condizioni per vento in -X: “Copertura Vento -X”;
- 3 condizioni per vento in +Y: “Copertura Vento +Y”;
- 3 condizioni per vento in -Y: “Copertura Vento -Y”;

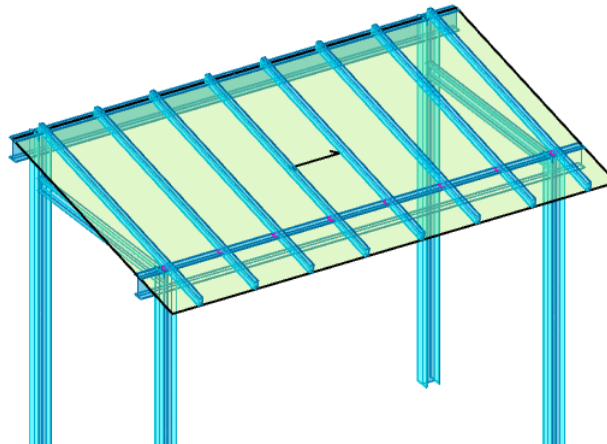


Figura 6 - carico superficiale relativo al peso della copertura e della neve

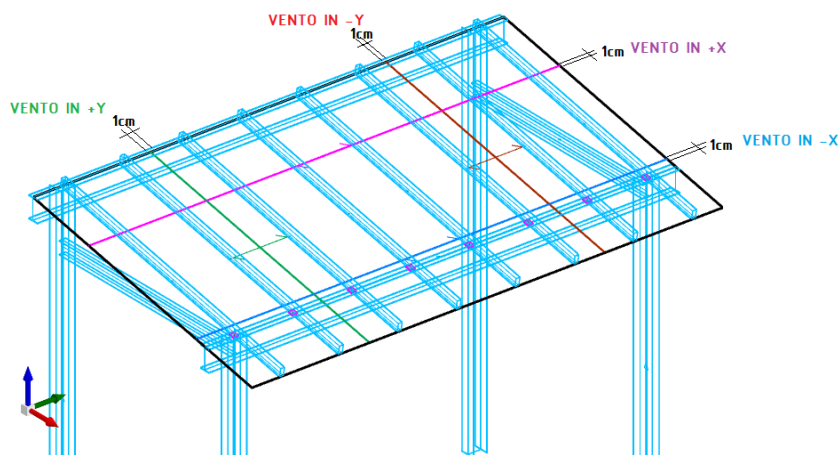


Figura 7 – Carichi superficiali di estensione 1 cm relativi al contributo del vento

I carichi di superficie così definiti in Sismicad sono riassunti in Figura 8, il calcolo dei valori riportati in figura verrà spiegato nelle sezioni successive.

Definizioni dei carichi																
Condizioni	Concentrati	Lineari	Superficiali	Temici	Potenziali	Combinabilità per default										
	Descrizioni	Colore	Pesi strutt.	Neve	V+X (CF<0; fi=0)	V+X (CF<0; fi=1)	V+X (CF>0; fi qualunque)	V-X (CF<0; fi=0)	V-X (CF<0; fi=1)	V-X (CF>0; fi qualunque)	V+Y (CF<0; fi=0)	V+Y (CF<0; fi=1)	V+Y (CF>0; fi qualunque)	V-Y (CF<0; fi=0)	V-Y (CF<0; fi=1)	V-Y (CF>0; fi qualunque)
1	Tetto		0.003	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Valore		Verticale	Vertic	Normale alla sup	Normale alla su	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale
2	Vento +X		0	0	-1,465	-2,1	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Valore		Verticale	Vertic	Normale alla sup	Normale alla su	Normale alla superficie	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale
3	Vento -X		0	0	0	0	0	-1,465	-2,1	0,85	0	0	0	0	0	0
	Valore		Verticale	Vertic	Normale alla sup	Normale alla su	Normale alla superficie	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale
4	Vento +Y		0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	-3,55	0,507	0	0	0
	Valore		Verticale	Vertic	Normale alla sup	Normale alla su	Normale alla superficie	Verticale	Verticale	Verticale	Normale alla sup	Normale alla sup	Normale alla superficie	Verticale	Verticale	Verticale
5	Vento -Y		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	-3,55	0,50
	Valore		Verticale	Vertic	Normale alla sup	Normale alla su	Normale alla superficie	Verticale	Verticale	Verticale	Normale alla sup	Normale alla sup	Normale alla superficie	Normale alla sup	Normale alla su	Normale alla superficie

Figura 8 - Schermata Sismicad riguardante la definizione dei carichi superficiali

Definizione entità dei carichi da vento:

Definite le coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera, Sismicad mette a disposizione i dati per determinare il valore della "pressione cinetica di picco" come definita al §3.2.7 della CNR DT 207/2008: $q_p(z) = q_r \cdot c_e(z)$

dove c_e è il coefficiente di esposizione funzione della categoria di esposizione del sito e del coefficiente di topografia c_t il quale risulta essere pari a 1. Il software restituisce automaticamente il valore della pressione cinetica di riferimento q_r e l'andamento di c_e in funzione della quota che è pari all'altezza massima della tettoia (Figura 9).

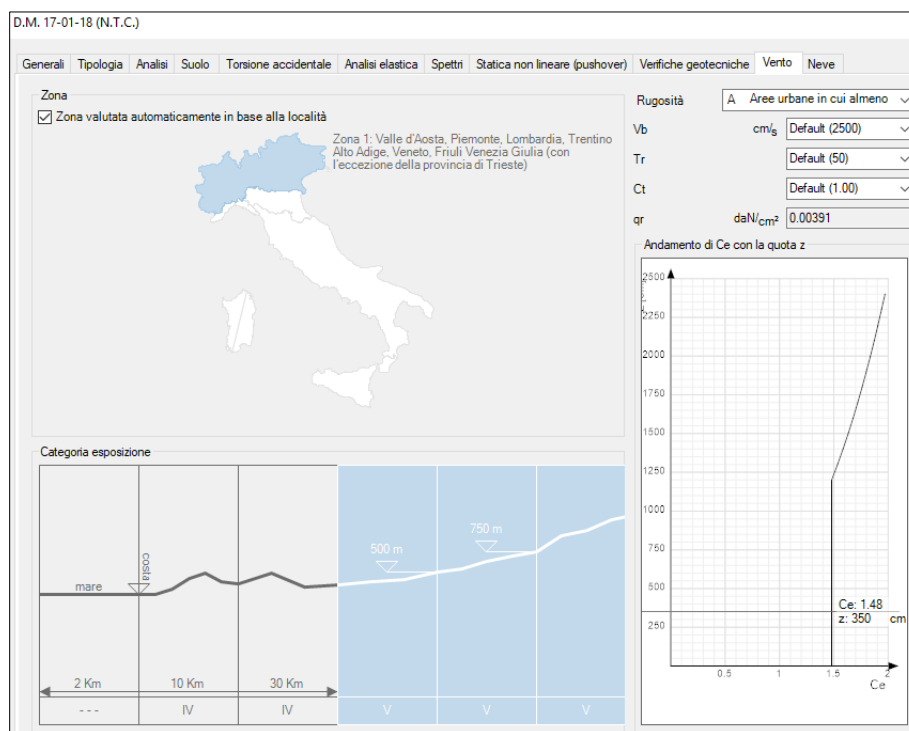


Figura 9 Schermata del Software Sismicad riguardante la definizione del vento

I valori dei coefficienti di forza c_F sono espressi in funzione del grado di bloccaggio Φ e dell'inclinazione α della falda (Tabella 1). La norma afferma che per valori intermedi di Φ è ammessa un'interpolazione lineare tra i valori relativi ai casi $\Phi=0$ e $\Phi=1$.

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

Tabella 1 - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (corrispondenti alla Tab. C3.3.XV della Circolare n.7 del 2019)

Osservazione

Si ritiene necessaria un'osservazione atta a chiarire il significato dei coefficienti c_F (Figura 4): con "valori positivi" di c_F si intende la situazione in cui il vento esercita una forza dall'altro verso il basso (o comunque in generale dalla parte esterna della tettoia verso la parte interna); per cui, come emerge dalla Tabella 1, in questo caso la presenza di ostruzioni al di sotto della tettoia, non influenza i valori assunti da c_F (da cui la dicitura "tutti i valori di Φ).

Con “valori negativi” di c_F si intende la situazione in cui il vento esercita una forza dal basso verso l’alto (o comunque in generale dalla parte interna della tettoia verso la parte esterna); Per cui, come emerge dalla Tabella 1, la presenza di ostruzioni o meno al di sotto della tettoia, influisce sui valori assunti da c_F .

Procedura

L’area di riferimento L^2 , ossia l’area su cui è applicata la forza risultante, è pari all’area della tettoia. Misurata l’area della falda, si dispone di tutti i dati per la determinazione della risultante della forza **F** da applicare, secondo norma, a **d/4 dal bordo investito dal flusso**.

La risultante **F** viene rappresentata, nel presente esempio, mediante un **carico superficiale** con direzione ortogonale a quella di azione del vento, avente larghezza pari ad **1 cm** ed esteso per tutta la lunghezza della falda.

La suddetta operazione sarà ripetuta 4 volte in modo da rappresentare le 4 direzioni del vento (+X, -X, +Y, -Y).

Le tettoie a semplice falda con **vento agente parallelamente alla linea di colmo** possono essere analizzate come una tettoia piana a semplice falda ($\alpha=0$). Nel presente esempio, quindi, nel calcolo del vento in direzione Y si utilizzeranno le formule di Tabella 1 - Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (corrispondenti alla Tab. C3.3.XV della Circolare n.7 del 2019) Tabella 1 con $\alpha=0$.

Nella commessa di esempio si hanno i seguenti dati:

- inclinazione falda $\rightarrow \alpha = 11^\circ$
- altezza massima falda $\rightarrow h = 3.50$ m
- lunghezza falda in direzione X $\rightarrow dx = 2.60$ m
- lunghezza falda in direzione Y $\rightarrow dy = 4.40$ m
- si può ricavare da Figura 9 Schermata del Software Sismicad riguardante la definizione del vento
Figura 9 $\rightarrow q_p(z) = q_r \cdot c_e(z) = 39 \text{ daN/m}^2 \cdot 1.48 = \mathbf{57.72 \text{ daN/m}^2}$

Calcolo della risultante della forza da vento F in direzione X

Coefficienti di forza:

valori positivi: per ogni valore di $\Phi \rightarrow c_F = +0,2 + 11/30 = +0,567$

valori negativi: per $\Phi=0 \rightarrow c_F = -0,5 - 1,3 \cdot 11/30 = -0,976$

per $\Phi=1 \rightarrow c_F = -1,4$

Ricordando che $F = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_F$, si calcolano le tre forze da vento F in direzione +X:

Vento in +X, $c_F > 0$, per ogni valore di $\Phi \rightarrow F = (57,72) \cdot (2,6 \cdot 4,4) \cdot 0,567 = \mathbf{374,4 \text{ daN}}$;

Vento in +X, $c_F < 0$, $\Phi=0 \rightarrow F = (57,72) \cdot (2,6 \cdot 4,4) \cdot 0,976 = \mathbf{644,5 \text{ daN}}$;

Vento in +X, $c_F < 0$, $\Phi=1 \rightarrow F = (57,72) \cdot (2,6 \cdot 4,4) \cdot 1,4 = \mathbf{924,5 \text{ daN}}$;

analoghi valori per Vento in -X.

Calcolo della risultante della forza da vento F in direzione Y

Si assume $\alpha=0$

Coefficienti di forza:

valori positivi: per ogni valore di $\Phi \rightarrow c_F = +0,2 + 0/30 = +0,2$

valori negativi: per $\Phi=0 \rightarrow c_F = -0,5 - 1,3 \cdot 0/30 = -0,5$

per $\Phi=1 \rightarrow c_F = -1,4$

Si calcolano le tre forze da vento F in direzione +Y:

Vento in +Y, $c_F > 0$, per ogni $\Phi \rightarrow F = (57,72) \cdot (2,6 \cdot 4,4) \cdot 0,2 = \mathbf{132 \text{ daN}}$;
 Vento in +Y, $c_F < 0$, $\Phi=0 \rightarrow F = (57,72) \cdot (2,6 \cdot 4,4) \cdot 0,5 = \mathbf{330 \text{ daN}}$;
 Vento in +Y, $c_F < 0$, $\Phi=1 \rightarrow F = (57,72) \cdot (2,6 \cdot 4,4) \cdot 1,4 = \mathbf{924,5 \text{ daN}}$;
 analoghi valori per Vento in -Y.

Rappresentazione della forza nel modello

Volendo applicare la risultante F come in carico superficiale applicato su una fascia di 1 cm, si ha:

Vento in +X, $c_F > 0$, per ogni valore di $\Phi \rightarrow f = F/dy = 374,4 \text{ daN}/440 \text{ cm} = \mathbf{0,85 \text{ daN/cm}}$;
 Vento in +X, $c_F < 0$, $\Phi=0 \rightarrow f = F/dy = 644,5 \text{ daN}/440 \text{ cm} = \mathbf{1,465 \text{ daN/cm}}$;
 Vento in +X, $c_F < 0$, $\Phi=1 \rightarrow f = F/dy = 924,5 \text{ daN}/440 \text{ cm} = \mathbf{2,1 \text{ daN/cm}}$;

Vento in +Y, $c_F > 0$, per ogni valore di $\Phi \rightarrow f = F/dx = 132 \text{ daN}/260 \text{ cm} = \mathbf{0,507 \text{ daN/cm}}$;
 Vento in +Y, $c_F < 0$, $\Phi=0 \rightarrow f = F/dx = 330 \text{ daN}/260 \text{ cm} = \mathbf{1,27 \text{ daN/cm}}$;
 Vento in +Y, $c_F < 0$, $\Phi=1 \rightarrow f = F/dx = 924,5 \text{ daN}/260 \text{ cm} = \mathbf{3,55 \text{ daN/cm}}$;

Tali forze (in blu i valori massimi), saranno inserite come in Figura 8 con l'opportuno segno a seconda che siano di **compressione** o di **trazione**.

Risultati di modellazione: rappresentazione carichi da vento

In questa sezione si riportano delle schermate della “vista carichi” di Sismicad nelle quali vengono mostrate le condizioni di carico, relative al vento, assegnate nel modello. Come riprova del corretto funzionamento del software si calcola la risultante di ciascuna condizione.

Vento +X:

In Figura 10 è mostrata la condizione di carico V+X con $c_F > 0$ e Φ qualsiasi, che ha risultante: $F = 47 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 8 = 376 \text{ daN}$, diretta ortogonalmente alla superficie della tettoia con verso dall'esterno all'interno.

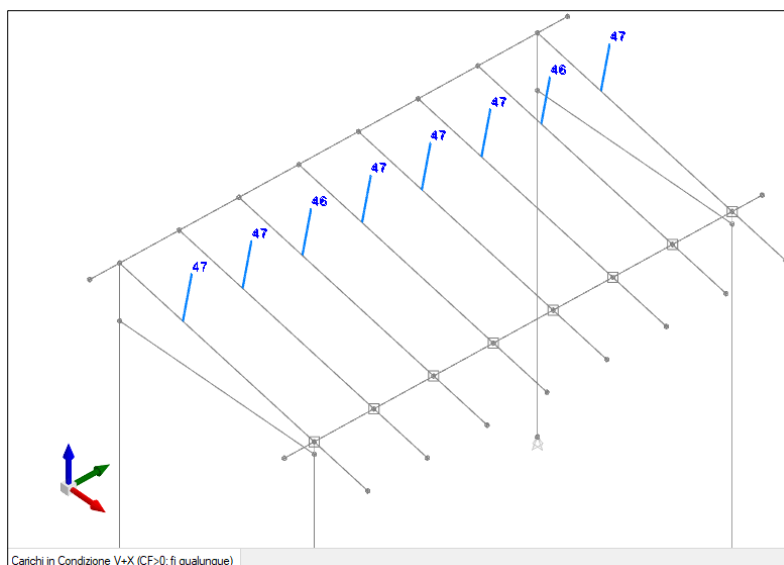


Figura 10 – Schermata Sismicad che mostra la condizione di carico V+X con $c_F > 0$ e Φ qualsiasi

In Figura 11 è mostrata la condizione di carico V+X con $c_F < 0$ e $\Phi = 0$ che ha risultante:
 $F = 81 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 6 + 80 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2 = 646 \text{ daN}$, diretta ortogonalmente alla superficie della tettoia con verso dall'interno all'esterno.

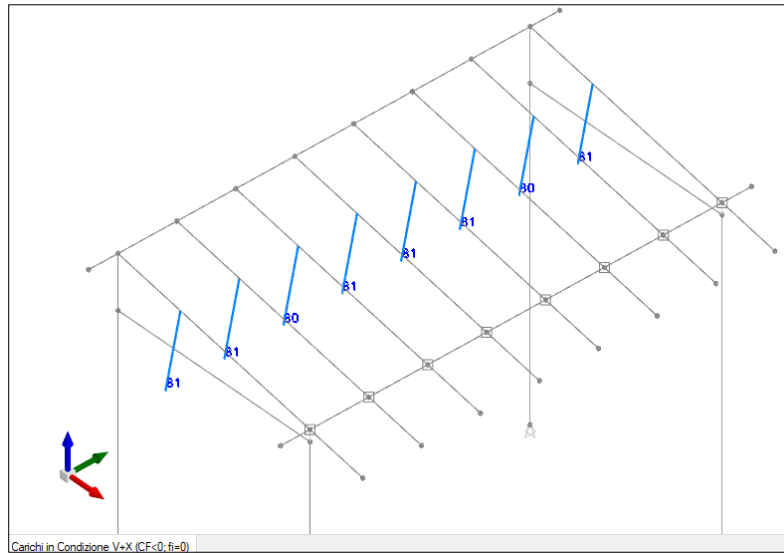


Figura 11 Schermata Sismicad che mostra la condizione di carico V+X con $c_F < 0$ e $\Phi = 0$

In Figura 12 è mostrata la condizione di carico V+X con $c_F < 0$ e $\Phi = 1$ che ha risultante:
 $F = 115 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2 + 117 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2 + 114 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2 + 116 \text{ daN/cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2 = 924 \text{ daN}$, diretta ortogonalmente alla superficie della tettoia con verso dall'interno all'esterno.

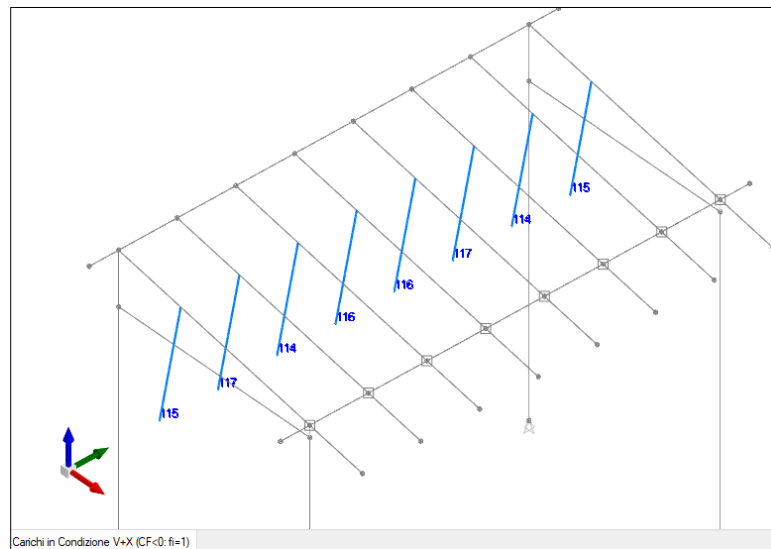


Figura 12 - Schermata Sismicad che mostra la condizione di carico V+X con $c_F < 0$ e $\Phi = 1$

Vento +Y:

In Figura 13 è mostrata la condizione di carico V+Y con $c_F > 0$ e Φ qualsiasi, che ha risultante:
 $F = 51 \text{ daN/m} \cdot 2,65 \text{ m} = 135 \text{ daN}$, diretta ortogonalmente alla superficie della tettoia con verso dall'esterno all'interno.

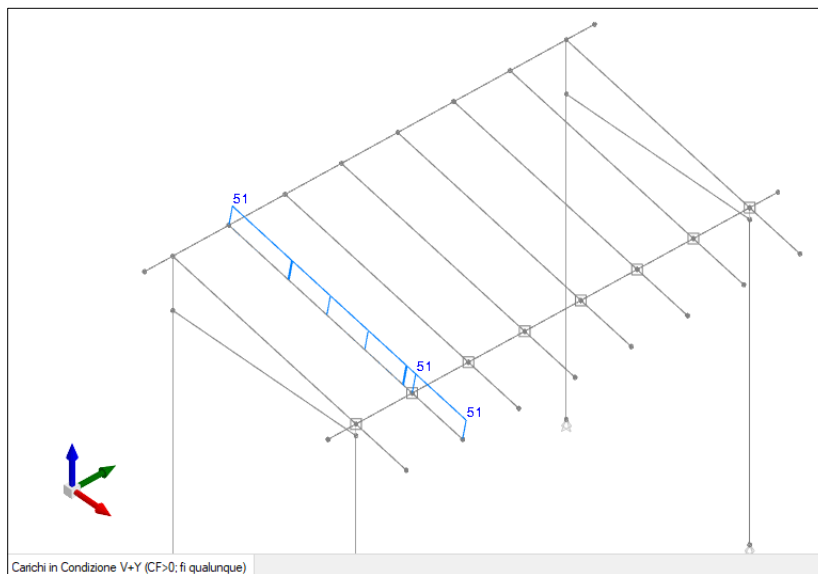


Figura 13 - Schermata Sismicad che mostra la condizione di carico V+Y con $c_F > 0$ e Φ qualsiasi

In Figura 14 è mostrata la condizione di carico V+Y con $c_F < 0$ e $\Phi = 0$ che ha risultante:
 $F = 127 \text{ daN/m} \cdot 2,65 \text{ m} = 336 \text{ daN}$, diretta ortogonalmente alla superficie della tettoia con verso dall'interno all'esterno.

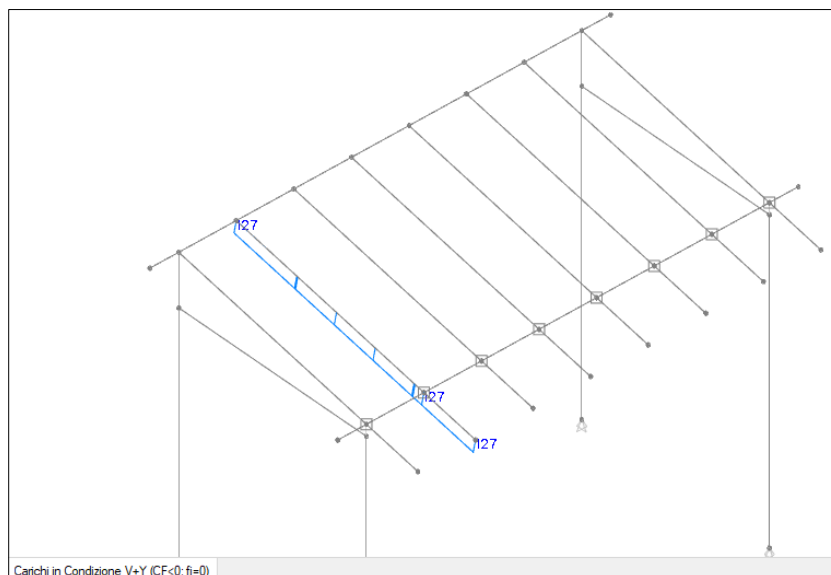


Figura 14 - Schermata Sismicad che mostra la condizione di carico V+Y con $c_F < 0$ e $\Phi = 0$

In Figura 15 è mostrata la condizione di carico V+Y con $c_F < 0$ e $\Phi = 1$ che ha risultante:
 $F = 355 \text{ daN/m} \cdot 2,65 \text{ m} = 940,75 \text{ daN}$, diretta ortogonalmente alla superficie della tettoia con verso dall'interno all'esterno.

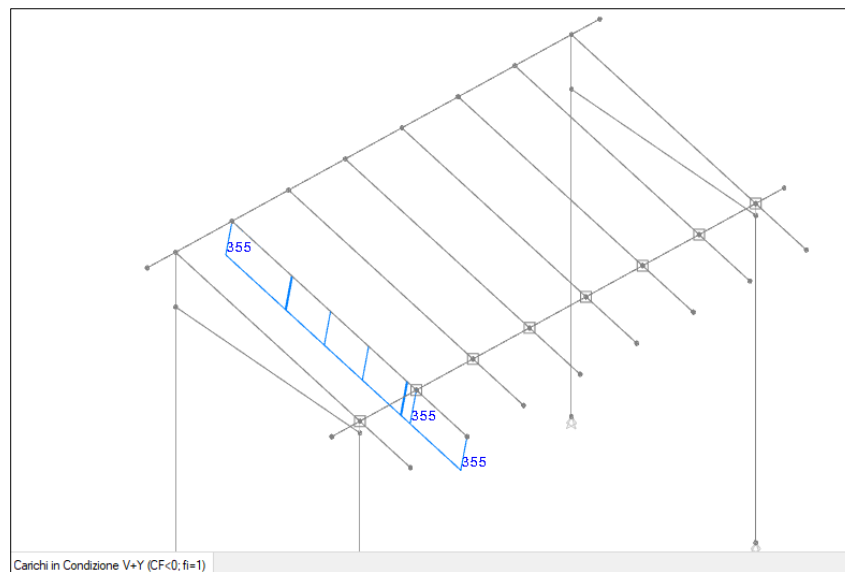


Figura 15 - Schermata Sismicad che mostra la condizione di carico V+Y con $c_F < 0$ e $\Phi = 1$

Definizione delle combinazioni di carico

Per definire in modo opportuno le combinazioni dei carichi riassunti in Figura 8, nella finestra definizione carichi, in “Combinabilità per default”, bisogna selezionare “incompatibili” per ognuna delle condizioni di carico vento diversa da quella in questione. In altre parole, non si verificherà mai che due condizioni di carico vento diverse siano contemporanee (Figura 16).

Definizioni dei carichi

Condizioni Concentrati Lineari Superficiali Temici Potenziali Combinabilità per default Combinazioni

	Pesi strutturali (1)	Neve (2)	V+X (CF<0; fi=0) (3)	V+X (CF<0; fi=1) (4)	V+X (CF>0; fi qualunque) (5)	V-X (CF<0; fi=0) (6)	V-X (CF<0; fi=1) (7)	V-X (CF>0; fi qualunque) (8)
Pesi strutturali (1)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Neve (2)	Standard		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
V+X (CF<0; fi=0) (3)	Standard	Standard		Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V+X (CF<0; fi=1) (4)	Standard	Standard	Incompatibili	Standard Contemporanee	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V+X (CF>0; fi qualunque) (5)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili		Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V-X (CF<0; fi=0) (6)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili		Incompatibili	Incompatibili
V-X (CF<0; fi=1) (7)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili		Incompatibili
V-X (CF>0; fi qualunque) (8)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	
V+Y (CF<0; fi=0) (9)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V+Y (CF<0; fi=1) (10)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V+Y (CF>0; fi qualunque) (11)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V-Y (CF<0; fi=0) (12)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V-Y (CF<0; fi=1) (13)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
V-Y (CF>0; fi qualunque) (14)	Standard	Standard	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili	Incompatibili
ΔT (15)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Sisma X SLV (16)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Sisma Y SLV (17)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Sisma Z SLV (18)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Eccentricità Y per sisma X SLV (19)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Eccentricità X per sisma Y SLV (20)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Sisma X SLD (21)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Sisma Y SLD (22)	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard

Figura 16 – Schermata della definizione dei carichi per impostare la non contemporaneità dei carichi da vento.

In questo modo, spostandosi nella finestra “Combinazioni” e cliccando su “Default”, verranno generate automaticamente le 76 combinazioni di carico con cui verranno svolte le analisi.

Definizioni dei carichi

Condizioni Concentrati Lineari Superficiali Temici Potenziali Combinabilità per default Combinazioni

Famiglia "SLU"

Descrizione	Pesi strutt	Neve	V+X (CF<0; fi=0)	V+X (CF<0; fi=1)	V+X (CF>0; fi qual	V-X (CF<0; fi=0)	V-X (CF<0; fi=1)	V-X (CF>0; fi qual	V+Y (CF<0; fi=0)	V+Y (CF<0; fi=1)	V+Y (CF>0; fi qual	V-Y (CF<0; fi=0)	V-Y (CF<0; fi=1)	V-Y (CF>0; fi qual
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
15	1	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0
16	1	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0
17	1	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0
18	1	0,75	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0
19	1	0,75	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0
20	1	0,75	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
21	1	0,75	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0,75	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0

cm.daN.deg.C.s OK Annulla Appli

Figura 17 - Schermata della combinazione dei carichi.

Si osservi come i valori degli ψ definiti in Tab. 2.5.1 delle NTC 2018 e in Figura 5, siano tali da considerare l’azione di vento e sisma in modo che non agiscano mai contemporaneamente.

Una volta definiti, condizioni e combinazioni, nonché i relativi carichi, si può poi procedere all’analisi della struttura, determinando sollecitazioni e verifiche strutturali del caso.

Conclusioni

Lo scopo del presente documento è di fornire una metodologia per l'applicazione delle prescrizioni normative legate alla Circolare del C.S.LL.PP. n.7 del 21.01.2019.

Appare evidente da questa trattazione come la suddetta norma introduca una valutazione dell'azione del vento su tettoie e pensiline in forma piuttosto articolata.

Stupisce inoltre il fatto che una azione dinamica di questo tipo debba essere ricondotta ad una azione statica concentrata e non ripartita su una superficie. Ciò può effettivamente essere di scarsa importanza per pensiline di modeste dimensioni, cosa peraltro piuttosto frequente. Purtroppo però la realtà progettuale può rendere necessario il calcolo dell'azione del vento anche su strutture di ampie dimensioni, come ad esempio su strutture industriali di rimessaggio veicoli o capannoni agricoli parzialmente chiusi, per le quali si possono rilevare grandezze molto elevate, tali da rendere difficoltosa la verifica della membratura con sezioni usuali.