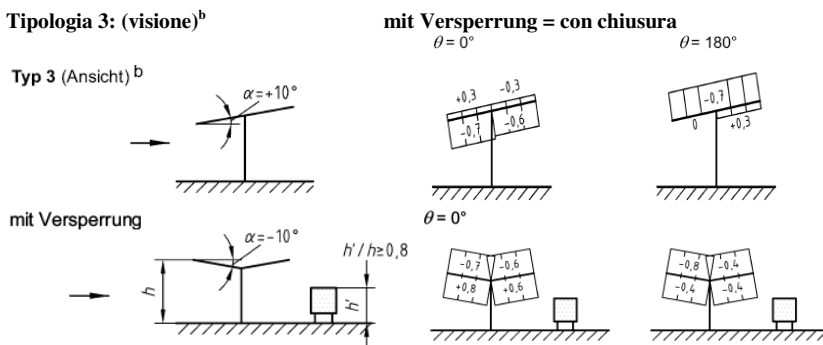


Parere professionale a riguardo dei carichi dovuti al vento su moduli solari con diversa inclinazione soggetti ad azione tangente

Al fine di realizzare un calcolo statico di rialzamenti solari inclinati su tetti o in campo aperto è necessario tenere in considerazione gli agenti esterni dovuti al vento, alla neve e alle condizioni mutevoli della temperatura. In questo contesto ci si prefigge di chiarire la questione relativa alla necessaria sicurezza della costruzione esaminata. A seguito della considerazione della situazione di mercato nel settore fotovoltaico è possibile constatare che in tale ambito vi sono diverse modalità di eseguire l'applicazione pratica. Mentre alcuni fornitori procedono nel rispetto delle disposizioni degli enti e delle norme tecniche dell'edilizia, altri si affidano a stime pragmatiche.

È inoltre necessario notare che nel regolamento edilizio modello nonché nei regolamenti edilizi degli stati federali della Germania gli impianti solari sono definiti in modo inequivocabile come parte di un edificio o di un complesso edile, e sono quindi da realizzare sulla base delle regole tecniche dell'edilizia. Per quanto riguarda i carichi da stabilire, relativamente ai carichi dovuti al vento e alla neve vale la norma DIN 1055 nella nuova versione (2005-2006), la quale è da impiegare in modo vincolante dal primo gennaio 2007. Per quanto riguarda i carichi dovuti alla neve la norma DIN 1055 comprende chiare disposizioni che non lasciano alcuno spazio per l'interpretazione a chi la applica. Per quanto riguarda i carichi dovuti al vento la situazione è diversa. Nella norma DIN 1055 parte 4 nella versione di marzo 2005 la velocità del vento e il calcolo delle pressioni di velocità delle raffiche sono definite chiaramente in funzione del luogo, della categoria del terreno (classe di rugosità del terreno) e dell'altezza dell'edificio. Con l'entità di ingresso delle pressioni di velocità del vento, i carichi dovuti al vento sono da rilevare tramite moltiplicazione con i coefficienti di pressione c_p oppure con i coefficienti di forza c_f . Nella norma sono rappresentati i coefficienti di pressione o di forza per diverse tipologie fondamentali di edificio. In caso di un impianto solare con elementi rialzati soggetto ad azione tangente, la norma DIN 1055 non comprende alcuna tipologia fondamentale di edificio. Nell'applicazione pratica molti progettisti per strutture portanti impiegano quindi le normative relative a tettoie e pensiline isolate. Nell'imm. 1 sono riportate le condizioni e i coefficienti di pressione per questa tipologia fondamentale. Per definizione sono validi i coefficienti per tetti inclinati, (ad es.) pensiline con un'inclinazione del tetto massima di 10° .

Tipologia 3: (visione)^b

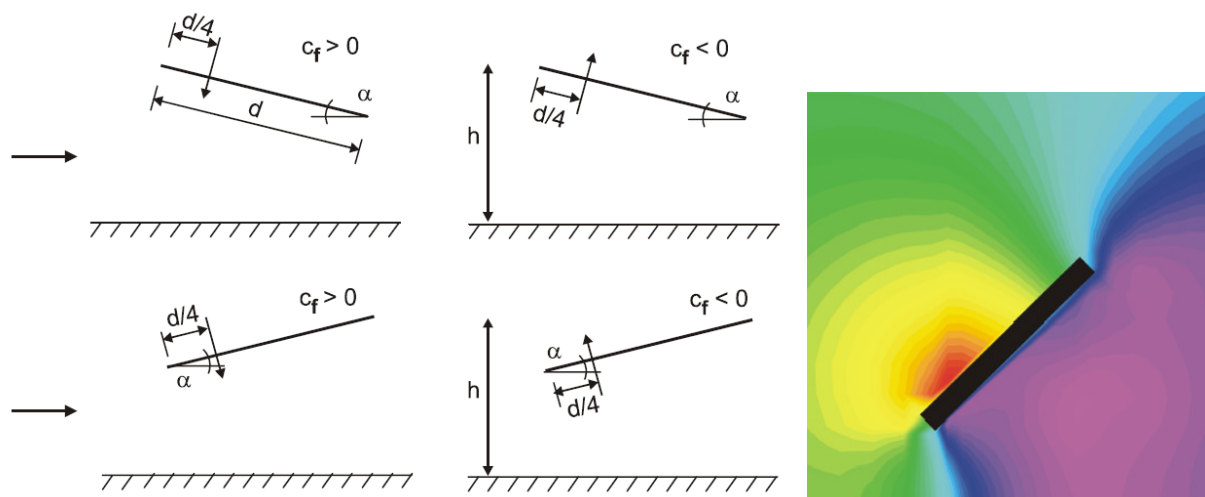


Imm. 1 Coefficienti di pressione per tettoie e pensiline isolate (DIN 1055-4 Tabella 8)

In mancanza di regolamentazioni specifiche, alcuni progettisti di strutture portanti hanno estrapolato i coefficienti di pressione per tettoie e pensiline inclinate isolate anche per un angolo di inclinazione $\alpha > 10^\circ$, situazione che corrisponde alla tipica gamma di impiego in installazioni solari. Questa procedura non è consentita, cosicché le costruzioni realizzate in tale modo non sono conformi alle regole riconosciute della tecnica [2]. La procedura tipica per il conseguimento di coefficienti di pressione consentiti prevede la successione qui indicata:

- analisi di altre regolamentazioni tecniche oppure della letteratura specializzata
- calcoli della dinamica delle correnti
- test

Nel caso di cui in oggetto già l'analisi della letteratura specializzata fornisce ampie indicazioni. In [1] è presentato, per i moduli solari inclinati, un approccio dei carichi sulla base di coefficienti di pressione e di forza secondo Eurocodice 1. Questa procedura fa fondamento sui risultati delle ricerche dell'università di Chemnitz. Nell'ambito di questo programma di ricerca, la situazione in oggetto è stata analizzata sia sulla base di calcoli che di test a lunga scadenza, cosicché sono state messe a disposizione regole riconosciute della tecnica. In 1 i carichi dovuti al vento su tettoie e pensiline isolate con inclinazione tra $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ sono stati analizzati in qualità di singoli carichi sui punti posti ad un quarto della lunghezza dei tetti (imm 2). Nell'imm. 3 è rappresentata in modo esemplare la ripartizione di pressione, derivata da calcoli, proveniente da un calcolo del flusso di corrente. La posizione della pressione massima – rappresentata dalla zona rossa – rende evidente la correttezza del metodo di calcolo.

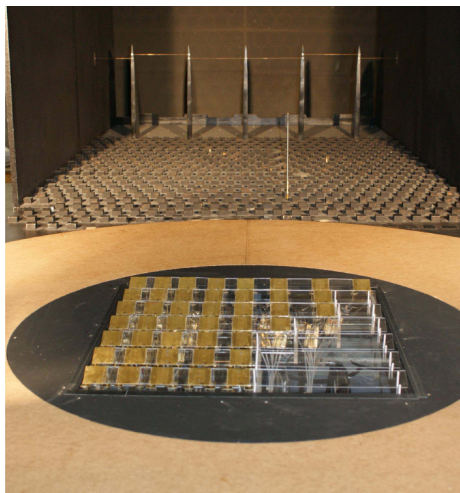


Imm. 2 Punti di attacco del carico per le forze dovute al vento (Eurocodice 1) **Imm. 3** Ripartizione della pressione [1]

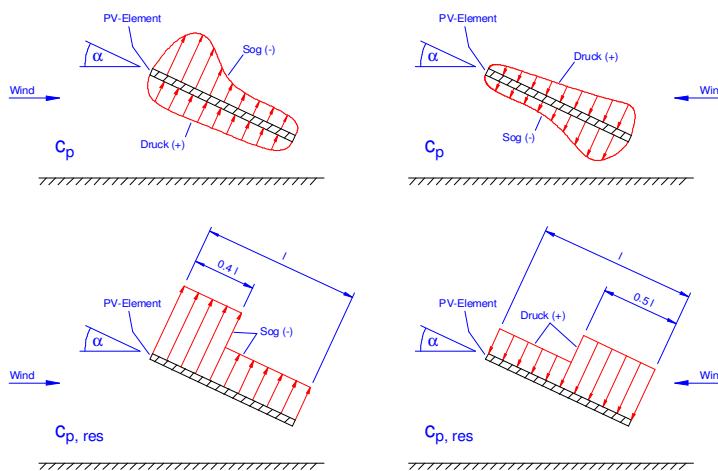
Nell'allegato 1 sono rappresentati in modo tabellare i coefficienti di pressione e di forza per tetti inclinati $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ secondo Eurocodice 1. I coefficienti di pressione sono validi per il modulo e i profili portanti dei moduli, mentre i coefficienti di forza per il supporto e le verifiche del fissaggio sono da applicare sul tetto o nel terreno. Il confronto dei valori riportati per 10° dimostra che l'ordine di grandezza corrisponde approssimativamente alle regolamentazioni di DIN 1055. Con l'aumento dell'inclinazione incrementano in modo significativo i valori assoluti dei coefficienti di pressione e forza. In caso di rialzamento con 30° è necessario impiegare carichi dovuti al vento che, con buona approssimazione, aumentano del doppio. Questo confronto indica che una verifica con i coefficienti di pressione previsti da DIN 1055 per angoli di montaggio più ampi si trova significativamente sul lato non sicuro.

I coefficienti di pressione regolamentati da normativa per tettoie e pensiline isolate conformemente a Eurocodice 1 devono, per la loro stessa natura, tenere in considerazione una serie di possibili costellazioni dovute agli edifici della zona circostante, alla direzione di entrata della corrente e dell'altezza minima. Inoltre, per una situazione che prevede tutta una serie di file una dietro l'altra, la copertura reciproca dal vento non è espressamente indicata.

Conformemente alle condizioni specifiche per i moduli fotovoltaici rialzati, è possibile rilevare valori più esatti attraverso test nel canale del vento. Questa procedura è espressamente consentita nel capitolo 6.3 di DIN 1055 parte 4. Per questo tipo di test volti alla valutazione dell'aerodinamica dell'edificio è da utilizzare un canale del vento dello strato limite.



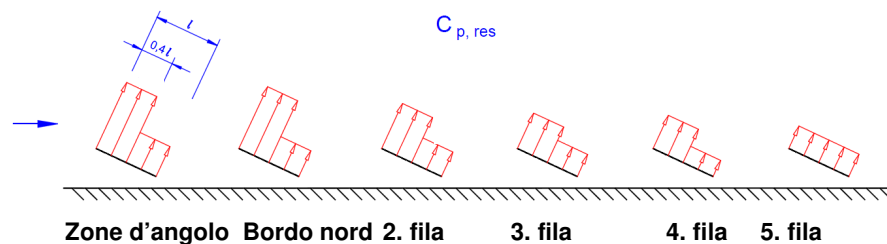
Imm. 3 Canale del vento dello strato limite [3]



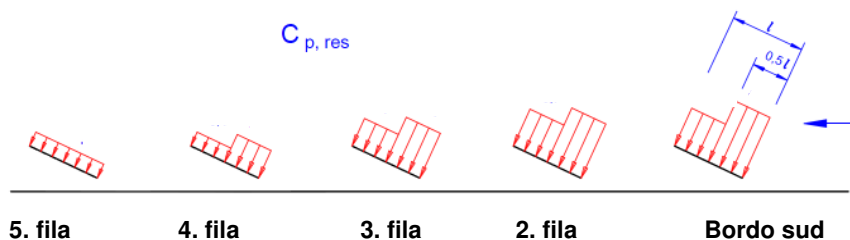
Imm. 4 Ripartizione reale e idealizzata della pressione [3]

L'immagine 3 mostra un canale del vento dello strato limite nel quale è stato creato un modello del tipo di edificio interessato – nel presente caso più file di un impianto fotovoltaico in campo aperto disposte una dietro l'altra – disposto su una piattaforma girevole. Con questo modello è presa in esplicita considerazione l'influenza di tutte le direzioni di entrata della corrente. Nella parte in alto dell'imm. 4 sono riportate le ripartizioni di pressione misurate qualitativamente per entrate del vento dal lato anteriore e posteriore. Poiché nella progettazione della struttura portante è possibile rilevare i campi di risucchio e di pressione solo con calcoli molto complessi, essi sono trasformati in ripartizioni idealizzate di risucchio e di pressione che causano sul campo dei moduli carichi e momenti uguali. Dal punto di vista qualitativo i risultati corrispondono in buona parte alle analisi in [1] e a Eurocodice 1; i valori assoluti e il baricentro della situazione dei carichi consentono tuttavia un dimensionamento più redditizio. Nell'imm. 5 è rappresentato l'influsso della copertura dal vento su file disposte una dietro l'altra. In caso di entrata del vento dal lato posteriore (solitamente da nord) i supporti rialzati sono sottoposti a sollecitazione continuamente decrescenti dall'azione del vento. A partire dalla quinta fila rimane solo un carico ripartito in modo pressoché costante sull'intera superficie dei moduli. Da poco, in caso di superfici maggiori all'interno di un impianto, è tuttavia necessario considerare le zone marginali. Poiché l'entrata da nord-ovest o da nord-est può comportare anche sollecitazioni maggiori dovute al vento sui telai di sostegno marginali sulle ali ad est e ad ovest di un impianto fotovoltaico, essi devono essere dimensionate in qualità di zone marginali.

Entrata del vento da nord



Entrata del vento da sud



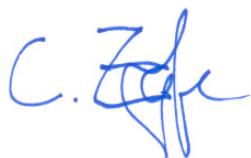
Imm. 5 Rappresentazione qualitativa dell'influenza della copertura dal vento su file disposte una dietro l'altra

Un effetto simile si osserva considerando un'entrata da sud. Qui emergono pressioni concentrate nel settore inferiore del campo dei moduli. A partire dalla quinta fila si osserva anche qui un campo di pressione omogeneo sulla superficie.

La rappresentazione qualitativa dei rapporti di pressione nell'imm. 5 vale per i telai di montaggio solare tipici, indipendentemente dal produttore; dal punto di vista quantitativo ci si attende un certo influsso della soluzione specifica in funzione delle dimensioni del profilo e delle misure delle fessure tra i moduli. Inoltre, i coefficienti di pressione dipendono fortemente dall'inclinazione della superficie dei moduli.

Per riassumere, è possibile definire che:

Le impostazioni di calcolo per i carichi dovuti al vento sulla base delle norme tecniche impiegate nei limiti di applicazione lì citati sono fondamentalmente consentite al fine di dimostrare la stabilità. Le analogie con altri tipi di edifici come tetti ad uno spiovente, pensiline o pannelli pubblicitari verticali disposti uno dopo l'altro sono insufficienti e non conformi alle regole riconosciute della tecnica. I test specifici su tunnel del vento nel canale del vento dello strato limite sono anch'essi conformi allo stato della tecnica e offrono, in caso di campi modulari omogenei senza grandi superfici libere, un potenziale di ottimizzazione economico soprattutto a seguito di riduzione del carico dovuto al vento nella parte interna. In caso di corretto impiego dei coefficienti aerodinamici nella progettazione della struttura portante, la stabilità è garantita senza limitazioni.

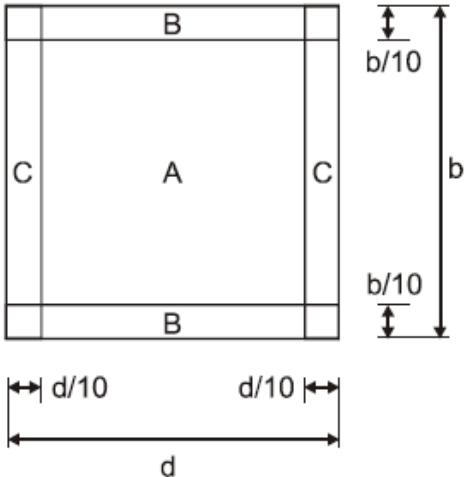


Dr.-Ing. C. Zapfe



- [1] Erfuth/Bahner: costruzioni portanti per impianti solari, manuale di progettazione per rialzare collettori solari, Solarpraxis Supernova AG, 2001. ISBN 3-934595-11-1
- [2] Univ. Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider: parere professionale per l'approccio dei carichi dovuti al vento in impianti solari (in campo aperto) soggetti ad azione tangente. Darmstadt, aprile 2010
- [3] Ruscheweyh Consult GmbH: test condotti per i carichi dovuti al vento sull'impianto fotovoltaico in campo aperto per l'azienda Schletter GmbH, Aachen (Aquisgrana), giugno 2010

Allegato 1: coefficienti di pressione e di forza per tetti inclinati $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ (DIN EN 1991-1-4; Eurocodice 1)

			Net Pressure coefficients $c_{p,net}$ Key plan		
					
Roof angle α	Blockage φ	Overall Force Coefficients c_f	Zone A	Zone B	Zone C
0°	Maximum all φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maximum all φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,6	- 2,7
15°	Maximum all φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Maximum all φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Maximum all φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Maximum all φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7
NOTE		+ values indicate a net downward acting wind action - values represent a net upward acting wind action			