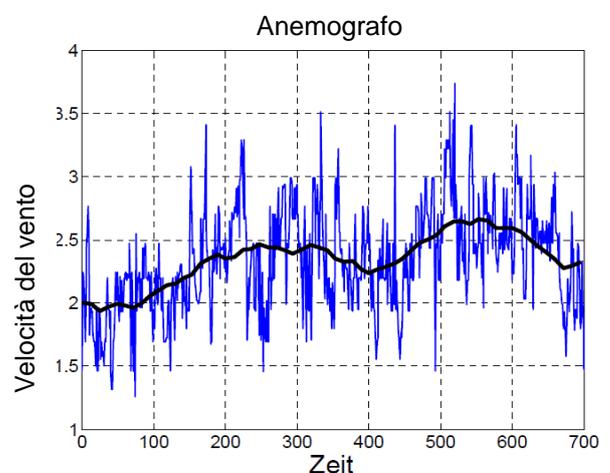


## Parere tecnico sulla determinazione della pressione cinetica di riferimento dalla velocità del vento

Nella progettazione e realizzazione di progetti fotovoltaici sorgono regolarmente discussioni sull'ordine di grandezza delle velocità del vento impostate nel calcolo statico per la determinazione del carico di vento. Lo sfondo è la sistematica complessa e tecnica del calcolo sulla base delle norme tecniche per l'edilizia che considera diverse entità di ingresso come la zona di vento, la rugosità del terreno e l'altezza dal suolo dell'elemento strutturale da verificare, mentre, ad es. nelle previsioni del tempo dopo tempeste, le velocità del vento massimamente misurate vengono indicate tipicamente nell'unità km/h.

In caso di impianti fotovoltaici, le assicurazioni, le banche di finanziamento e gli investitori si appoggiano sulle massime velocità del vento ostentate che vengono pubblicate nella stampa o che possono richieste dai servizi meteorologici. Durante la visione del calcolo statico specifico per il progetto si nota spesso che per il calcolo dei carichi di vento si sono impostate delle velocità di riferimento del vento significativamente inferiori. Naturalmente questo fatto porta al disorientamento e nel caso limite a dubbi per quanto riguarda la correttezza dei calcoli statici. Le seguenti spiegazioni servono al chiarimento della procedura per il calcolo strutturale di carichi di vento e al chiarimento di malintesi.

Le velocità del vento vengono registrate in una pluralità di stazioni meteorologiche rappresentative con anemometri (anche chiamato anemografo). L'immagine 1 dimostra in modo esemplare un protocollo di misurazione di un anemografo per un periodo di 700 secondi. La curva blu rappresenta il segnale di misura preciso mentre la curva nera dimostra un livellamento della serie di misure per un intervallo di tempo definito mediante determinazione del valore medio. In circoli professionali, la curva nera mediata viene denominata quota stazionaria della velocità del vento. La divergenza della curva blu dalla curva nera viene chiamata la quota instazionaria della velocità del vento che è da attribuire a raffiche del vento ed a turbolenze locali. La velocità di riferimento del vento utilizzata nell'edilizia  $v_{ref}$  rappresenta la quota stazionaria a forma di un valore medio di 10 minuti in terreno aperto ad un'altezza di 10 m dal suolo.



**Immagine 1** Illustrazione esemplare del protocollo di misurazione di un anemografo

Dal punto di vista statistico qui si tratta di quella grandezza che viene raggiunta o superata solo una volta in un periodo di osservazione di 50 anni. La valutazione delle velocità di riferimento del vento si basa sulle serie di misure di una pluralità di stazioni meteorologiche (188) per un periodo di, in parte, parecchi decenni. La velocità di riferimento del vento non contiene nessuna azioni delle raffiche ed è valida esattamente per le condizioni di una misurazione ad un'altezza di 10 m dal suolo.

In base ai risultati analizzati delle stazioni meteorologiche per la Germania, è stata elaborata una mappa delle zone di vento che è pubblicata nelle norme tecniche per le ipotesi di carico DIN 1055-4 e nell'Eurocodice 1 (DIN EN 1991-1-4/NA) che sostituirà la norma nazionale nel corso dell'armonizzazione europea. L'immagine 2 dimostra la ripartizione in 4 zone di vento di cui sono alla base i seguenti valori di base delle velocità di riferimento del vento  $v_{ref}$ .

|                  |          |            |
|------------------|----------|------------|
| zona di vento 1: | 22,5 m/s | ( 81 km/h) |
| zona di vento 2: | 25,0 m/s | ( 90 km/h) |
| zona di vento 3: | 27,5 m/s | ( 99 km/h) |
| zona di vento 4: | 30,0 m/s | (108 km/h) |

La conversione dell'unità metro per secondo (m/s) nell'unità chilometro per ora (km/h) viene effettuata tramite moltiplicazione con il fattore 3,6. I valori calcolati da 81-108 km/h spiegano la discrepanza in confronto alle massime velocità del vento durante tempeste.

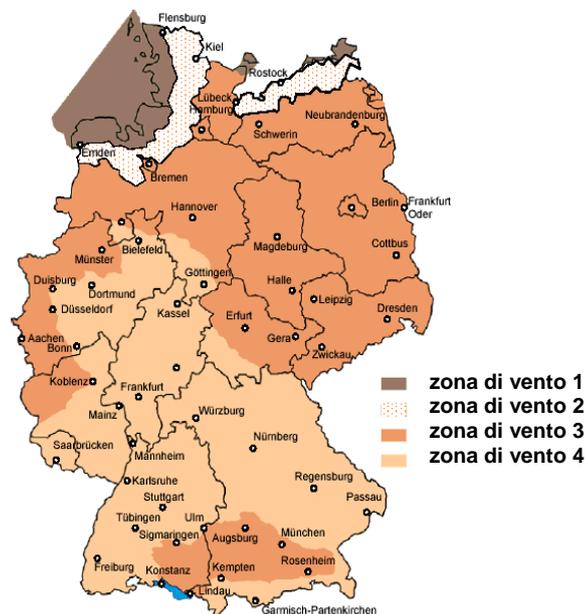


Immagine 2 Mappa delle zone di vento per la Germania

La base per la progettazione di strutture portanti non forma la velocità del vento, ma la pressione cinetica di riferimento dedotta dalla velocità del vento. La pressione cinetica di riferimento  $q_{ref}$  viene calcolato dal valore di base della velocità di riferimento del vento  $v_{ref}$  secondo la seguente equazione:  $q_{ref} = v_{ref}^2 / 1600$  in  $kN/m^2$

Qui bisogna rilevare che la velocità del vento viene elevata al quadrato. Ciò significa, in caso di un raddoppiamento della velocità del vento, una quadruplicazione della pressione cinetica di riferimento.

Solo in un ulteriore passo vengono considerate le influenze delle circostanze della costruzione e l'altezza dell'elemento dal suolo. L'immagine 3 illustra questo rapporto per terreno aperto, ambiente rurale e costruzione urbana.

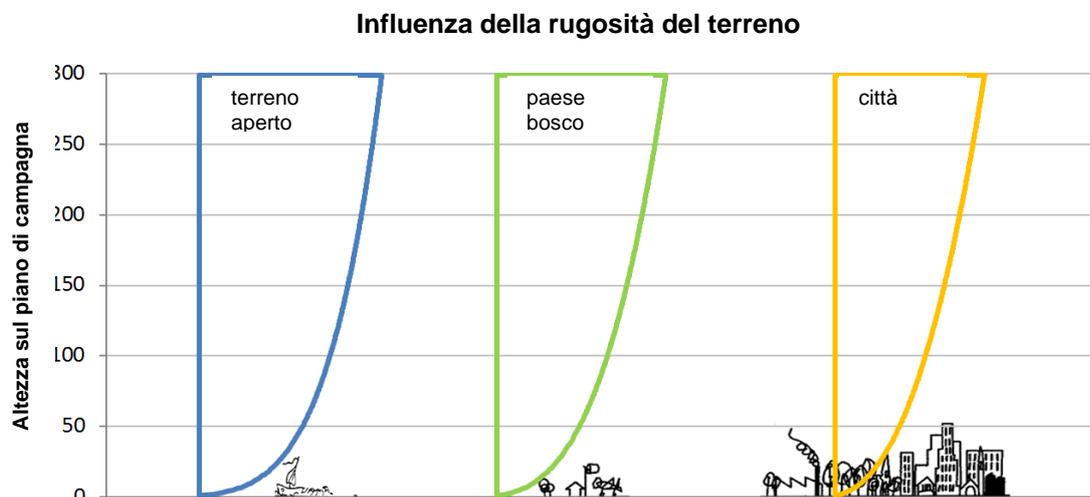


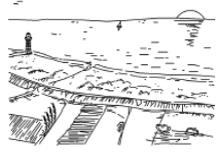
Immagine 3 Influenza della rugosità del terreno sulla velocità del vento

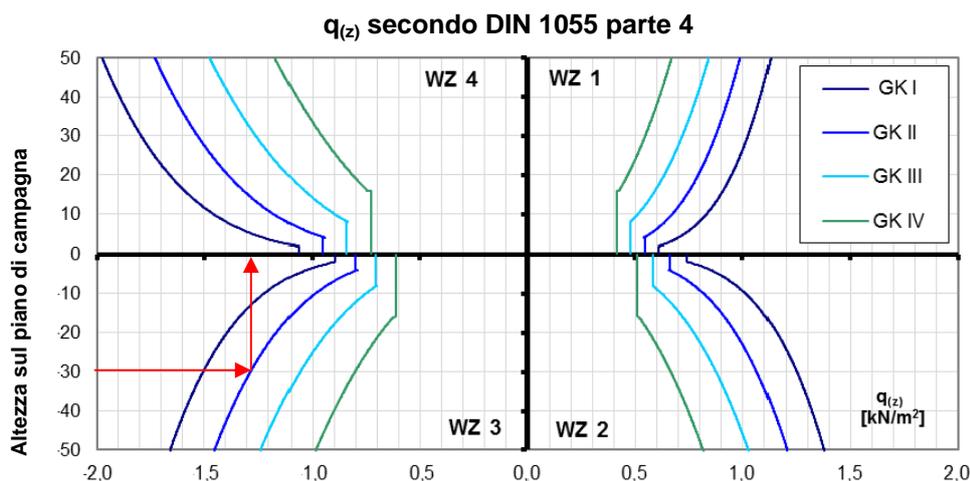
La costruzione e la vegetazione oppone un ostacolo alla corrente del vento vicino al suolo e con ciò esercita un'azione frenante tramite la resistenza di attrito. Quest'effetto viene denominato rugosità del terreno e viene considerato nella norma classificando il sito in una cosiddetta categoria del terreno (in Italia: classe di rugosità del terreno). Secondo tabella 1, i regolamenti per la Germania prevedono le categorie del terreno I-IV. Nell'area transitoria tra due categorie del terreno sono da osservare categorie miste.

In immagine 4 è illustrata una valutazione grafica delle pressioni cinetiche di riferimento calcolate in dipendenza dalla zona di vento, dalla categoria del terreno e dall'altezza sul piano di campagna.

Nei 4 quadranti ogni volta sono riportati i profili di pressione del vento per le 4 categorie del terreno nelle zone di vento 1-4. Sull'asse verticale è indicata l'altezza sul piano di campagna, sull'asse orizzontale è riportata la pressione cinetica di riferimento. Per spiegare il modo di procedere è esposto un esempio in immagine 4. Per un oggetto nella zona di vento 3, categoria del terreno II e un'altezza di 20 m dal suolo, è rilevabile una pressione cinetica di riferimento  $q_{(z)} = 1,3 \text{ kN/m}^2$ . Si può convertire questo valore ipoteticamente in una velocità del vento equivalente di  $v = 164 \text{ km/h}$  ( $v = 144 \cdot q^{1/2}$ ). La velocità di riferimento del vento viene ingrandita qui in modo ostentato con un fattore di reazione delle raffiche (coefficiente dinamico). Per l'esempio contemplato, si può stimare questo fattore con 1,29 in riferimento alla velocità del vento.

**Tabella 1** Classificazione in categorie del terreno sec. DIN 1055 parte 4

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Categoria del terreno I:</b></p> <p>Aree prive di ostacoli</p>   |  |
| <p><b>Categoria del terreno II:</b></p> <p>Terreno con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...), ad es. zona agraria</p>                      |  |
| <p><b>Categoria del terreno III:</b></p> <p>Aree urbane, suburbane, industriali e boschive</p>   |  |
| <p><b>Categorie del terreno IV:</b></p> <p>Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m</p> |  |



**Esempio:**

zona di vento 3  
 categoria del terreno II:  
 altezza  $z = 30 \text{ m}$

$q_{(z)} = 1,3 \text{ kN/m}^2$

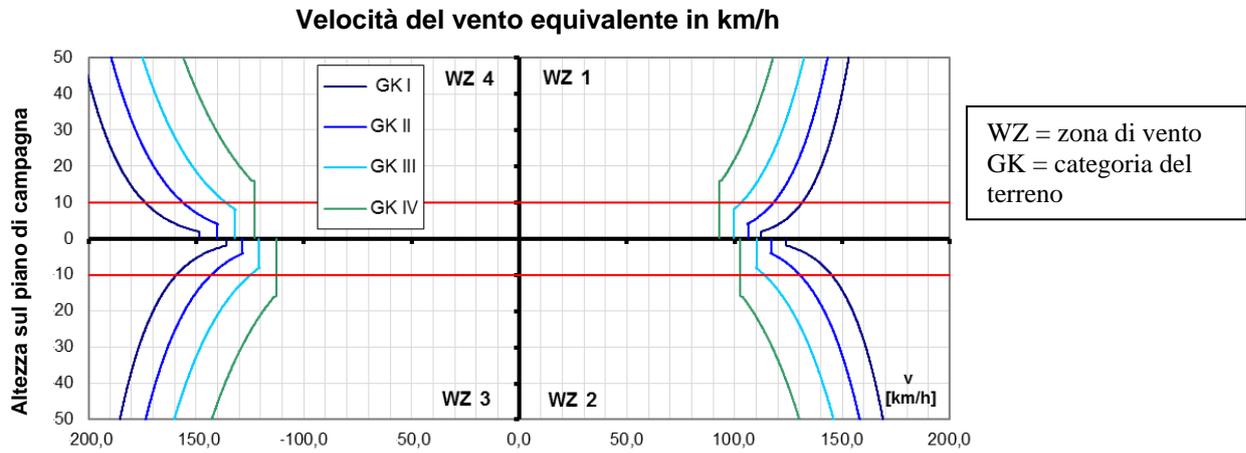
velocità del vento  
 equivalente

$v = 164 \text{ km/h}$

WZ = zona di vento  
 GK =  
 categoria del terreno

**Immagine 4** Valutazione grafica delle pressioni cinetiche di riferimento

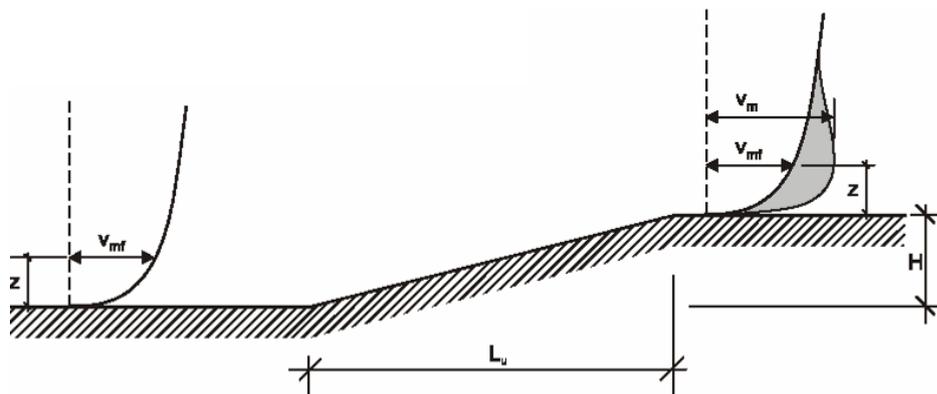
L'immagine 5 dimostra la valutazione aritmetica delle velocità del vento equivalenti per le diverse zone di vento e categorie del terreno. I valori sono tra i 93 e 200 km/h in dipendenza dai parametri di ingresso. Con ciò le velocità del vento equivalenti sono proprio entro lo spettro di quello che è stato misurato come massima velocità del vento durante tempeste. In aggiunta bisogna annotare che, in calcoli statici, i carichi di vento vengono moltiplicate con un coefficiente di sicurezza di 1,5.



**Immagine 5** Conversione delle pressioni cinetiche di riferimento in velocità del vento equivalenti.

Una contemplazione più precisa dell'illustrazione in immagine 4 spiega che, in caso di costruzioni vicino al suolo, come impianti in campo aperto, vengono proprio impostate pressioni cinetiche di riferimento inferiori e/o velocità del vento equivalenti inferiori che le massime velocità del vento menzionate. Normalmente queste ultime vengono registrate dalle stazioni meteorologiche ufficiali che, per definizione, sono installate in siti in terreno aperto ad un'altezza di 10 m dal suolo. Dal punto di vista meccanico, la riduzione delle pressioni cinetiche di riferimento in vicinanza al suolo è comprensibile.

Per ragioni di completezza, bisogna menzionare che in posizioni esposte e su colline isolate e terrazze, si può presentare un aumento della velocità del vento a causa di un restringimento del profilo della corrente. Secondo i regolamenti normativi, si possono includere tali effetti considerando un cosiddetto coefficiente topografico. In posizioni sfavorevoli, questo coefficiente può causare l'aumento delle velocità del vento fino al 50%. Questo non è solo valido per terreno collinoso normale, ma anche per posizioni esposte. Come esempio ostentato si può menzionare discariche per rifiuti in un ambiente altrimenti piano che in misura crescente vengono scelte come siti per impianti in campo aperto.



**Immagine 6** Influenza della velocità del vento a causa di cambiamento della topografia

Riassuntivamente si può constatare che le massime velocità del vento misurate durante tempeste sono in correlazione con le ipotesi del carico secondo DIN 1055 parte 4, anche se la ripartizione normativa in velocità media del vento dalla quota stazionaria ed in coefficiente dinamico non si dischiude direttamente al profano.

C. Zapfe