

Comune di
Cerignola



Provincia di
Foggia

Regione Puglia



Comune di
Trinitapoli



Provincia di
Barletta Andria Trani

Committente:



MAIA SOL S.R.L.

VIA MERCATO 3/5 CAP 20121 MILANO (MI)

c.f. 12502470961



Titolo del Progetto:

Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto agrifotovoltaico denominato "Demofonte"

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Codice Pratica:

VIGVA99

N° Tavola:

G

Elaborato:

RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

SCALA:

N.D.

FOGLIO:

1 di 1

FORMATO:

A4

Nome file: **VIGVA99_Relazione_Preliminare_Strutture_G.pdf**

Progettazione:



NEW DEVELOPMENTS S.r.l.
Piazza Europa, 14
87100 Cosenza (CS)

Progettisti:



dott. ing. Giovanni Guzzo Foliario



dott. ing. Amedeo Costabile



dott. ing. Francesco Meringolo

Gruppo di lavoro

dott. ing. Denise Di Cianni
dott. ing. Diego De Benedittis
dott. ing. Giuseppe Imbrogno
dott. geol. Martina Petracca

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	20/06/2022	PRIMA EMISSIONE	New Dev.	CSC	CSC

Sommario

Premessa.....	2
1. Inseguitori solari - Studio degli effetti del vento	3
1.1 PANORAMICA DI DY-WIND	3
1.2 Il Metodo di studio.....	4
1.2.1 Vibrazione di risonanza.....	4
1.2.2 Flutter torsionale	5
1.2.3 Galoppo torsionale.....	5
1.2.4 Pressione del vento in galleria e test di velocità (modelli rigidi + DAF).....	6
1.2.5 Test dinamici della galleria del vento.....	7
2. Ancoraggio al terreno di fondazione	10
3. Determinazione delle azioni di calcolo.....	10
3.1 Azione della Neve.....	12
3.2 Azione del vento	15
3.3 Azione sismica	22
4. Calcolo preliminare strutture – inseguitori solari.....	26
5. Dimensionamento basamenti di fondazione di cabinet e container	28
6. Pali di illuminazione e videosorveglianza	30
7. Recinzioni e cancelli.....	31
8. Edificio di controllo.....	31
Conclusioni.....	32

Premessa

In riferimento all'Art. 29 del D.P.R. n. 207 del 05 ottobre 2010 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»", la presente relazione tecnica esplicita le assunzioni di progetto finalizzate al rispetto dei seguenti punti estratti dal sopracitato articolo 29:

1. I calcoli delle strutture e degli impianti devono consentire di determinare tutti gli elementi dimensionali, dimostrandone la piena compatibilità con l'aspetto architettonico ed impiantistico e più in generale con tutti gli altri aspetti del progetto. I calcoli delle strutture comprendono i criteri di impostazione del calcolo, le azioni, i criteri di verifica e la definizione degli elementi strutturali principali che interferiscono con l'aspetto architettonico e con le altre categorie di opere.
2. I calcoli degli impianti devono permettere, altresì, la definizione degli eventuali volumi tecnici necessari e, per quanto riguarda le reti e le apparecchiature degli impianti, anche la specificazione delle caratteristiche.
3. I calcoli di dimensionamento e verifica delle strutture e degli impianti devono essere sviluppati ad un livello di definizione tale che nella successiva progettazione esecutiva non si abbiano significative differenze tecniche e di costo. Nel caso di calcoli elaborati con l'impiego di programmi informatizzati, la relazione di calcolo specifica le ipotesi adottate e fornisce indicazioni atte a consentirne la piena leggibilità.

In particolare la presente relazione illustra le principali caratteristiche delle strutture costituenti il sistema di inseguimento solare monoassiale prescelto per il presente progetto rinviando alla progettazione esecutiva tutte le necessarie verifiche statiche e dinamiche prescritte dalle vigenti normative di settore.

Relativamente alle altre strutture presenti nel progetto, quali elementi prefabbricati, vani tecnici, recinzione metallica, cancelli di ingresso e sistemi di illuminazione/videosorveglianza, vengono di seguito esplicitate le modalità di verifica richiamate al punto 3 dell'art. 29 del DPR 207/2010 rinviando quindi alla fase di progettazione esecutiva il calcolo e la verifica strutturale con relativi grafici e disegni esecutivi delle opere. A tal proposito si precisa che trattasi di elementi prefabbricati e/o accessori funzionali pre-assemblati

Tav. G	Relazione preliminare sulle strutture	2 di 32
--------	---------------------------------------	---------

forniti e posati in opera da ditte specializzate e quindi accompagnati da idonea certificazione di conformità anche sotto il profilo strutturale.

1. Inseguitori solari - Studio degli effetti del vento

Il progetto di inseguitore solare monoassiale deve rispettare una serie di parametri che tengono conto degli effetti aeroelastici causati dal vento. Il miglioramento dell'elettronica è necessario anche per affrontare fenomeni meteorologici come cicloni, venti forti o tempeste elettriche.

In questo documento, vengono presentati i risultati dello studio del vento condotto da RWDI in collaborazione con Soltec per il tracker a singolo asse SF7, insieme con le caratteristiche per affrontare in sicurezza gli eventi meteorologici.

1.1 PANORAMICA DI DY-WIND

L'approccio ibrido sperimentale-numericamente sviluppato attraverso il lavoro con Soltec valuta accuratamente il comportamento del tracker sotto l'azione del vento in array multi-fila e consente flessibilità nel processo di progettazione che generalmente non è pratico attraverso il test completo del modello aeroelastico. (Matthew TL Browne, M.Eng., P.Eng., M.ASCE Project Manager / Direttore tecnico / Associato presso RWDI)

Diversi studi hanno dimostrato che alcuni standard del codice di progettazione del vento applicati agli inseguitori solari non sono sufficienti per progettare queste strutture in modo affidabile, in quanto non considerano gli effetti del secondo ordine prodotti dall'azione del vento sul localizzatore. Al fine di prevenire i relativi problemi di instabilità strutturale, è necessario trovare nuove metodologie di analisi che migliorino la progettazione di strutture tracker affidabili quantificando la loro risposta agli effetti del vento del secondo ordine. Il capo dei consulenti eolici RWDI in collaborazione con Soltec ha sviluppato un metodo innovativo, Dy-WIND per un'analisi dinamica completa nel design del vento del tracker array. Con 15 anni di esperienza specialistica, Soltec ha incorporato questo metodo nella progettazione di inseguitori Soltec.

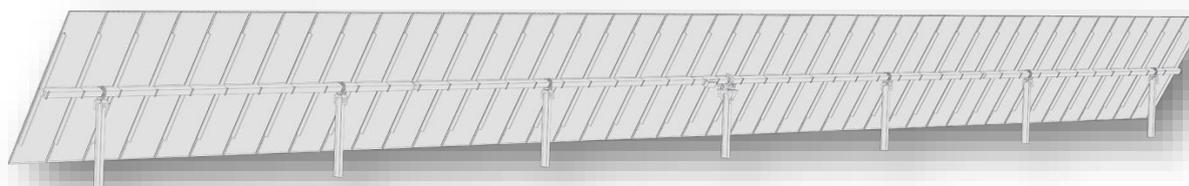


Figura 1 Schematizzazione tipo sistema tracker

1.2 Il Metodo di studio

Nella progettazione di inseguitori solari diversi sono i fattori che influenzano la loro risposta agli effetti dinamici del vento. L'equazione del moto presenta la seguente forma:

$$I \cdot \ddot{\alpha} + k \cdot \alpha + c \cdot \dot{\alpha} = M_{SE} + M_{BUFF}$$

Al fine di studiare gli effetti del vento sulla struttura del tracker devono essere considerati diversi fenomeni come la fluttuazione del vento e la turbolenza. La parte di fluttuazione dei carichi del vento è dovuta alla turbolenza del vento e alla risposta dinamica della struttura. I carichi inerziali dovuti alla vibrazione risonante possono aumentare in modo significativo i carichi fluttuanti del vento.

L'approccio sviluppato insieme a EWDI combina i risultati dei test in galleria del vento con l'analisi numerica per studiare l'influenza dei principali meccanismi che causano vibrazioni o instabilità nel tracker.

1.2.1 Vibrazione di risonanza

La vibrazione di risonanza è causata dal generatore wind buffer o dall'effetto di risonanza della scia causato dalla turbolenza generata dalle file sopravento di un campo tracker. Questo meccanismo è studiato con i dati sulla pressione in galleria del vento e l'amplificazione del carico è rappresentata da un metodo ibrido di dinamici fattori di amplificazione (DAF) e metodo di analisi del buffer (BAM) utilizzando i dati della galleria del vento come input.

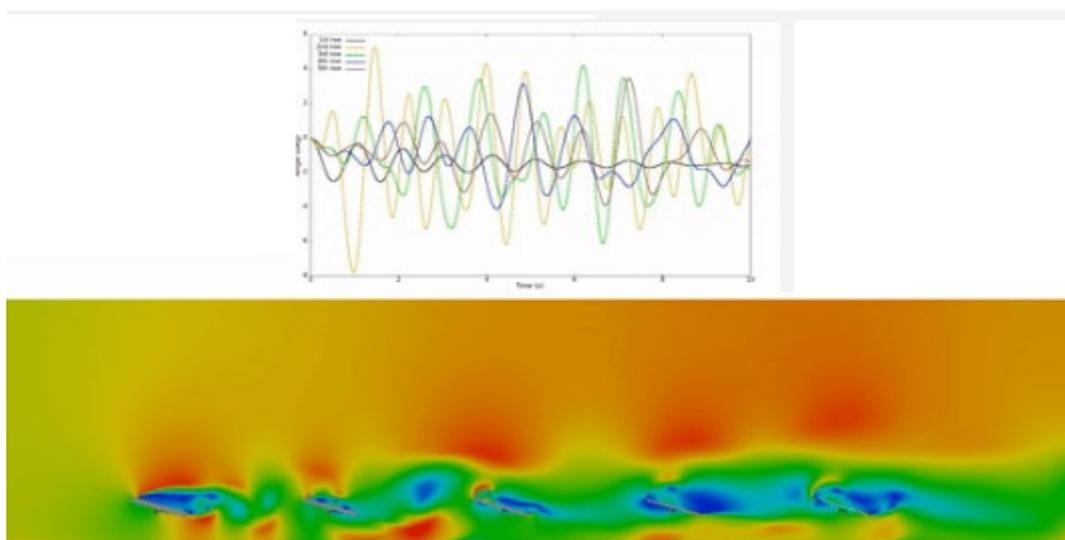


Figura 2 Simulazioni CFD eseguite da Soltec in collaborazione con Lynx basate sulla metodologia Dy-Wind

1.2.2 Flutter torsionale

Flutter è un'instabilità aerodinamica autoeccitata in cui le forze aerodinamiche dipendono dalla rotazione della velocità angolare della struttura stessa, e può portare ad ampiezze molto ampie in moto torsionale o movimento torsionale e verticale accoppiato. Per inseguitori che fanno affidamento su un tubo di torsione centrale guidato da una singola posizione, viene creata una modalità di vibrazione a torsione da una forma di vibrazione generalmente iniziata alle estremità della fila. Flutter torsionale caratterizza l'elevato angolo di inclinazione.

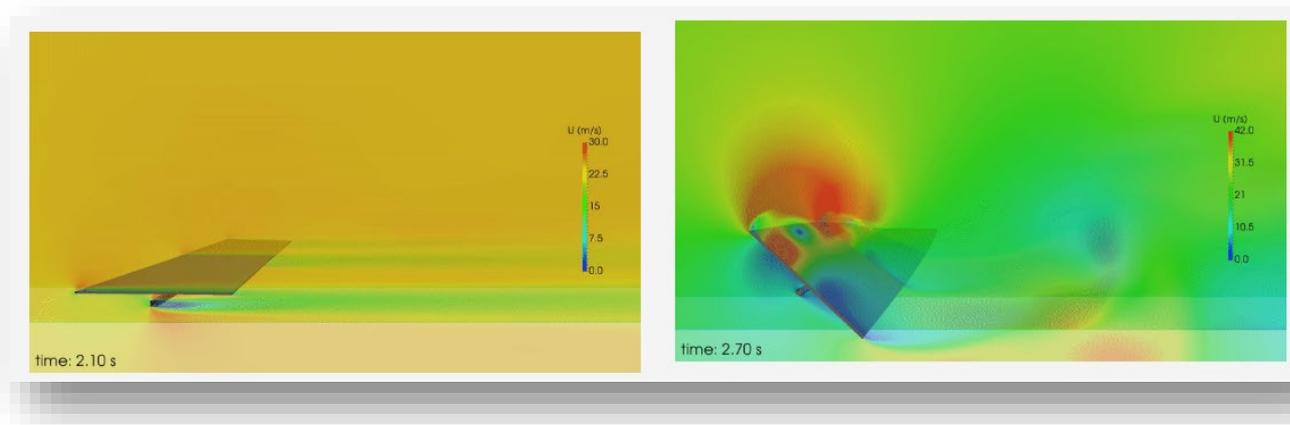


Figura 4 Simulazioni CFD eseguite da Soltec in collaborazione con Lynx basate sulla metodologia Dy-Wind

1.2.3 Galoppo torsionale

Questa instabilità dipende dalla rotazione della struttura e può portare a grandi risposte nella stessa a causa delle vibrazioni nel momento di beccaggio aerodinamico. All'inizio, il crescente movimento di beccaggio riduce la rigidità strutturale complessiva, determinando torsioni unidirezionali della struttura o movimenti oscillatori a seconda della rigidità residua della struttura. Con l'aumentare della velocità del vento è probabile che questa instabilità causerà un guasto una volta superata la resistenza. Questa instabilità è indicata come "Torsional Galloping", che caratterizza il comportamento dell'angolo di inclinazione basso.

Due analisi numeriche sono implementate per affrontare i meccanismi 2 e 3:

- Fluttering Analysis Method (FAM): predice la massima velocità del vento consentita prima che si verifichi l'instabilità;

- Buffeting Analysis Method (BAM): predice la risposta del tracker (carico a deflessione) a causa dell'azione del vento per gli array a più righe nel dominio del tempo.

Per eseguire queste analisi numeriche è fondamentale condurre due tipi di test in galleria del vento. I dati sperimentali ottenuti nella galleria del vento sono combinati con metodi numerici per ottenere ciascun metodo (DAF-BAM, FAM e BAM).

Il test convenzionale della pressione in galleria del vento utilizza modelli rigidi e può prevedere la forza del vento su ciascuna fila tenendo conto della scia del flusso d'aria dietro ogni fila. Questo funziona per determinare i fattori di amplificazione dinamica (DAF) per coprire l'intervallo di velocità del vento di progetto e tutte le direzioni del vento. Anche le misurazioni della velocità del vento con questo modello sono necessarie come input in FAM e BAM per gli array a più righe.

Il test dinamico della galleria del vento utilizza modelli aeroelastici per catturare la risposta e inoltre prevedere il comportamento della struttura in funzione della velocità del vento e del tempo. Questo funziona per determinare i coefficienti FAM e BAM.

1.2.4 Pressione del vento in galleria e test di velocità (modelli rigidi + DAF)

I coefficienti di carico statico del vento sono ottenuti dalle prove di pressione nella galleria del vento. Questi coefficienti non includono una tolleranza per il caricamento risonante causato da vibrazioni risonanti o buffe ring indotto dal risveglio. I fattori dinamici di amplificazione (DAF) rappresentano l'amplificazione del circuito dovuta a questi effetti, in base alla frequenza naturale di vibrazione del sistema strutturale, alla velocità del vento, alla lunghezza della corda e allo smorzamento nel sistema. Sono inoltre necessarie misurazioni della velocità del vento che forniscono il relativo cambiamento di velocità attraverso un array utilizzando il modello rigido come input in FAM e BAM.

È importante notare che questi coefficienti si basano su test in galleria del vento utilizzando modelli rigidi e, pertanto, non includono effetti di interazione fluido-struttura (o effetti aeroelastici). Questi effetti sono calcolati utilizzando i dati della pressione del tunnel del vento misurati come input per l'analisi del bucher del dominio del tempo. Questo approccio ibrido di Dynamic Amplification Factors e Buffeting Analysis Method consente una previsione completa del carico su array multi-fila su tutte le velocità del vento e le direzioni del vento. Questo metodo mostra che le prime due righe esterne in un campo di tracker sono le più colpite. Oltre la seconda fila, le file di inseguitori hanno un effetto di riparo e le forze del vento sulle file interne sono notevolmente ridotte.

1.2.5 Test dinamici della galleria del vento

Per studiare gli effetti aeroelastici associati alle instabilità, devono essere affrontati FAM e BAM. Il primo passo per eseguire questi due metodi è quello di ottenere i derivati aerodinamici dai test dinamici della galleria del vento e quindi implementare metodi e simulazioni numerici.

Per fare ciò, una sezione del tracker viene modellata su una scala appropriata, quindi viene esaminata nella galleria del vento progettata per questo scopo. Implementando un sistema di sospensione a molla e utilizzando lo smorzamento a correnti parassite, la rigidità torsionale, l'inerzia e il coefficiente di smorzamento vengono replicati, consentendo la rotazione del modello.

Una volta ottenuti i derivati aerodinamici (per la rigidità e lo smorzamento) nella galleria del vento, vengono sviluppati due diversi modelli numerici per implementare gli studi FAM e BAM:

- FAM: utilizza un modello numerico, misurazioni della velocità del vento da matrici a più righe e i derivati aerodinamici per prevedere la velocità massima del vento a posizioni di angolo di inclinazione variabile prima che il localizzatore diventi instabile e si verifichi il galoppo/flutter torsionale.

- BAM: utilizza un modello numerico, misurazioni della velocità del vento e della pressione da matrici multiple, i derivati aerodinamici e le fluttuazioni del vento per prevedere la deflessione torsionale del localizzatore. Questo modello numerico può anche essere utilizzato per estrarre le forze autoeccitate, le forze inerziali e le forze del vento che agiscono sul tracker per la progettazione.

1.2.5.1 Flutter Analysis Method (FAM)

La stabilità del tracker viene analizzata per valutare la sua risposta alle azioni dinamiche del vento. È importante che i fenomeni di instabilità, come il galoppo torsionale e il flutter torsionale, siano presi in considerazione quando si progettano i tracker e si predice il loro comportamento.

I risultati di questa analisi forniscono la variazione dello smorzamento totale (strutturale + aerodinamico) in funzione della velocità del vento. L'instabilità è definita come il punto in cui lo smorzamento totale è inferiore a 0. Questo studio è molto rilevante in quanto contrassegna la velocità del vento critico prima che il tracker vada in un'instabilità.

Questo metodo può essere applicato a matrici a più file mediante l'applicazione di misurazioni della velocità del vento a diversi angoli di inclinazione del localizzatore e mostra come la rigidità torsionale del sistema (strutturale + aerodinamica) diminuisca con l'aumentare della velocità del vento. Questa influenza

ha associato ad essa una perdita di frequenza naturale, quindi il tracker tende ad essere più suscettibile alle azioni di buffeting del vento quando la velocità del vento aumenta per gli angoli di inclinazione bassi.

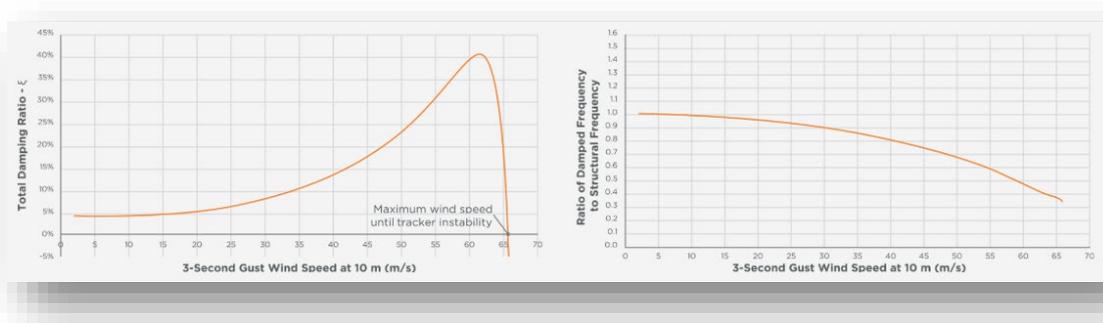


Figura 5 a sinistra FAM: rapporto di smorzamento/velocità del vento - a destra: rapporto di frequenza/velocità del vento

1.2.5.2 Metodo di analisi del buffer (BAM)

L'applicazione di questo metodo predice meglio il comportamento di un array tracker multi-fila sotto l'azione del vento, fornendo al contempo flessibilità nel processo di progettazione generalmente non pratico attraverso il test completo del modello aeroelastico. Questo metodo può simulare sia l'intero spettro delle fluttuazioni della turbolenza del vento sia la risposta del tracker a causa di forze auto-eccitazione e di buffeting. La forzatura dinamica è amplificata dal movimento strutturale e potrebbe produrre problemi strutturali con velocità del vento al di sotto della velocità di insorgenza critica per un'instabilità aerodinamica.

BAM è il metodo raccomandato per tenere conto dell'intero spettro delle fluttuazioni del picco del vento. Ciò significa che il momento massimo o la massima rotazione del tracker saranno calcolati dalla velocità massima del vento di picco, che rappresenta il carico del caso peggiore. Questo è fondamentale nelle regioni prossime alla massima velocità del vento consentita prima che si verifichi instabilità.

Con questo metodo, i momenti massimi e la forza dovuta alle azioni del vento possono essere analizzati in ogni membro del tracker, quindi la progettazione di ciascuna di queste parti è più affidabile rispetto a qualsiasi altro metodo.

I risultati dell'analisi del buffer nelle serie temporali della rotazione del tracker e queste risposte possono essere utilizzate per prevedere la risposta massima del momento indotta dal vento, i picchi di fluttuazione del vento, i carichi inerziali e le forze autoeccitate. Se lo smorzamento complessivo nel sistema è negativo, la

soluzione numerica per il localizzatore sarà instabile (oltre la velocità massima consentita del vento indicata nell'analisi del flutter).

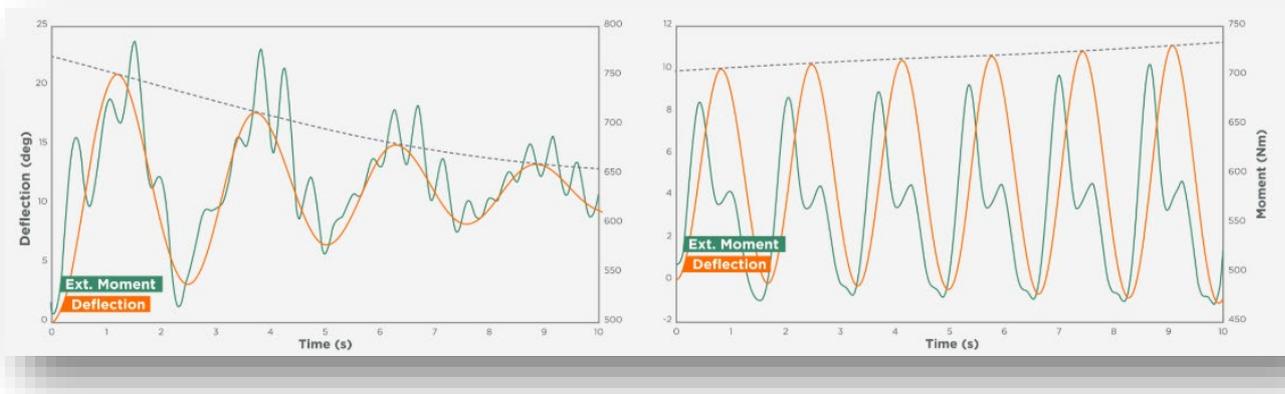


Figura 6 a sinistra FAM: risposta di stabilità (segnale smorzamento) - a destra: risposta all'impossibilità (aspetti strutturali previsti)

1.2.5.3 Confronto tra carichi di vento statici e dinamici

L'effetto maggiore prodotto dal vento è il momento torsionale. Questo momento di torsione influisce sul tubo di torsione e sul gruppo di supporto del motore. È notevolmente aumentato dagli effetti dinamici descritti in questo documento. Nelle tabelle seguenti c'è un confronto tra i momenti statici e quelli dinamici che influenzerebbero ciascuno dei componenti del tracker per diverse velocità del vento secondo ASCE 7 ed Eurocode.

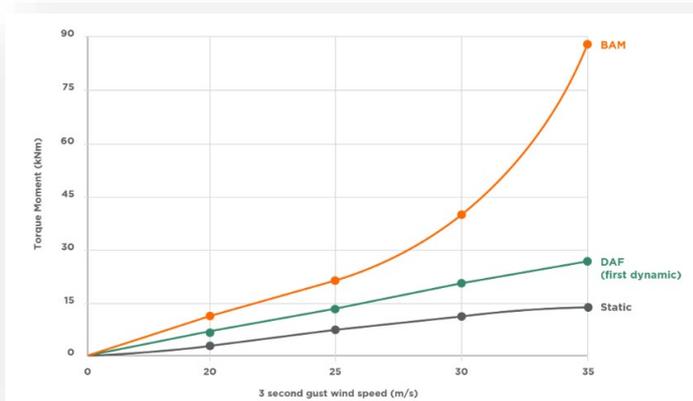


Figura 7 confronto tra carichi di vento statici e dinamici

Velocità del vento	Statico	DAF	Buffeting	Δ da statico
20 m/s	4,8 Nm	7,4 kNm	11,8 kNm	x 2,45

25 m/s	7,5 Nm	13,6 kNm	22,1 kNm	x 2,95
30 m/s	10,9 kNm	20,4 kNm	40,6 kNm	x 3,72
35 m/s	14,8 kNm	27,8 kNm	88,5 kNm	x 5,98

In conclusione, si osserva che gli effetti del vento dinamico amplificano considerevolmente il momento torsionale sulla struttura del tracker. Il design affidabile del localizzatore richiede tubi con pareti più spesse e un gruppo di supporto del motore di sezione maggiore rispetto a quelli indicati quando si considerano solo i coefficienti statici. Come si può vedere, l'incremento del momento risulta essere più elevato secondo l'approccio BAM rispetto all'approccio DAF. L'applicazione dei risultati BAM indica un aumento di materiale nelle sezioni trasversali dei profili strutturali per ottenere forza e rigidità e, di conseguenza, un aumento proporzionale del costo unitario per inseguitore.

È da sottolineare che le strutture sono dotate di sistemi di protezione che permettono l'orientamento del tracker in caso di venti superiori a valori ammissibili prefissati.

2. Ancoraggio al terreno di fondazione

Le strutture dei moduli saranno ancorate al terreno mediante infissione del montante per una profondità dimensionata in riferimento alle sollecitazioni indotte dalla sovrastruttura. I carichi dimensionanti sono quelli derivanti dalla combinazione delle azioni del vento incidente sulla struttura che provocano a livello fondale degli sforzi assiali sul montante. Il predimensionamento della profondità di infissione è soddisfatto se l'azione assiale esercitata dal vento è equilibrata dalle azioni tangenziali dovute al contatto con il terreno.

In fase di progettazione esecutiva sarà definita l'effettiva profondità di infissione (preliminarmente dimensionata nell'ordine di 1,5 – 2,5 m) atta a garantire l'equilibrio statico del sistema compatibile con le caratteristiche geomeccaniche del terreno di sedime.

3. Determinazione delle azioni di calcolo

Al fine di valutare la sicurezza attesa nei confronti delle azioni di calcolo e nei confronti delle azioni sismiche, di seguito si descrivono le metodologie di valutazione delle azioni secondo quanto sancito dalle NTC 2018 per le successive verifiche strutturali da eseguire, precisando che le opere prefabbricate e preassemblate dalle aziende fornitrici saranno accompagnate da idonea documentazione attestante il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza strutturale e che la stessa sarà opportunamente depositata, qualora previsto dalla Legge, presso i competenti uffici di Genio Civile.

3.1 Azione della Neve

AZIONE DELLA NEVE PAR. 3.4 NTC18

1.DEFINIZIONE DEI DATI

Il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota $a_s \leq 1500$ m s.l.m., non dovrà essere assunto minore di quello indicato in tabella, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Per altitudini $a_s \geq 1500$ m s.l.m. si dovrà fare riferimento a valori statistici locali utilizzando comunque valori non inferiori a quelli previsti per 1500m

1.1 a_s (altitudine sul livello del mare): [m]

1.2 zona:

<p>Zona I - Alpina Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza</p>	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
<p>Zona I - Mediterranea Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese</p>	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
<p>Zona II Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona</p>	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
<p>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</p>	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$



Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si fa riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m.
 Per un'opera di nuova realizzazione in fase di costruzione o per le fasi transitorie relative ad interventi sulle costruzioni esistenti, il periodo di ritorno dell'azione si riduce come di seguito specificato:
 - per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto non superiore a tre mesi, si assumerà $TR \geq 5$ anni;
 - per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto compresa fra tre mesi di un anno, si assumerà $TR \geq 10$ anni.

2 CALCOLO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

q_{sk} valore caratteristico della neve al suolo **1,00** [kN/m²]

3 CALCOLO DEI COEFFICIENTI

3.1 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione deve essere utilizzato per modificare il valore del carico della neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Normalmente si adotta $C_e=1$. Si riportano in tabella i coefficienti consigliati per le diverse classi di topografia.

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
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti.	1,1

3.1.1 Classe di topografia:

Battuta dai venti

Il coefficiente di esposizione vale:

C_e 0,90

3.2 Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t=1$.

Il coefficiente topografico vale:

C_t 1,00

Pertanto il valore di progetto del carico da neve è quantificato in 1,00 kN/m² da applicare alle strutture considerando gli appropriati coefficienti di forma della copertura.

3.2 Azione del vento

AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

DEFINIZIONE DEI DATI

zona:

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)



Classe di rugosità del terreno:

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

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

a_c (altitudine sul livello del mare della costruzione):	30	[m]
Distanza dalla costa	9	[km]
T_R (Tempo di ritorno):	50	[anni]
Categoria di esposizione	II	

	ZONE 1,2,3,4,5					
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5 ** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

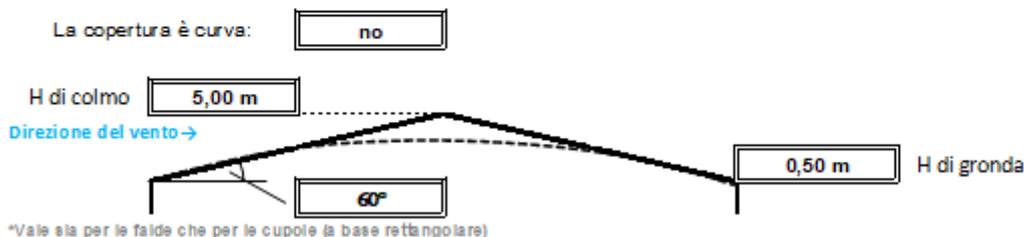
	ZONA 6				
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

	ZONE 7,8		
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

	ZONA 9	
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.



CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

Zona	v _{b,0} [m/s]	a ₀ [m]	k _s	C _a
3	27	500	0,37	1,000

$$v_b = v_{b,0} * c_a$$

$c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

v_b (velocità base di riferimento) 27,00 m/s

$$v_r = v_b * c_r$$

Cr coefficiente di ritorno 1,00
v_r (velocità di riferimento) 27,02 m/s

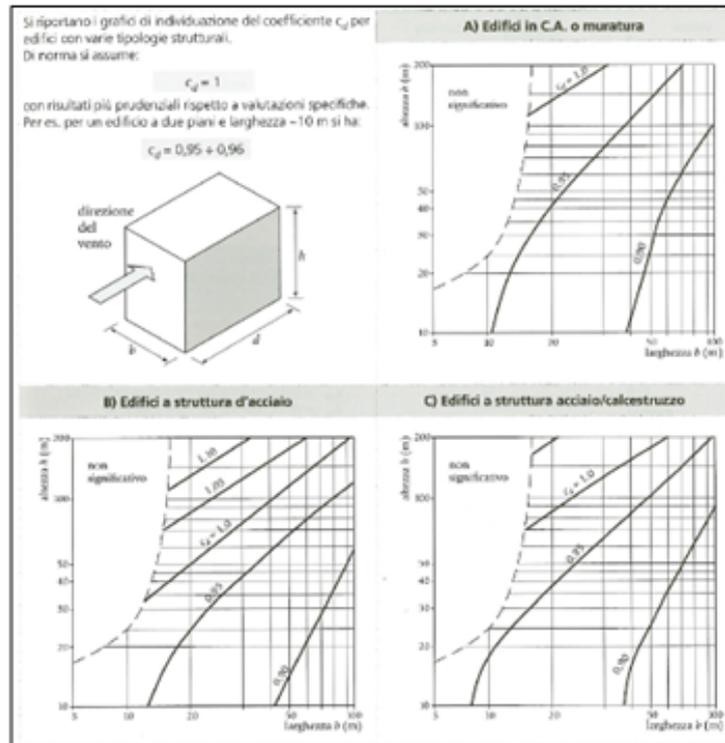
PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

q (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
 $q = 1/2 * \rho * v_r^2$ ($\rho = 1,25$ kg/m³)
 Pressione cinetica di riferimento q_r **456,29 [N/m²]**

CALCOLO DEI COEFFICIENTI

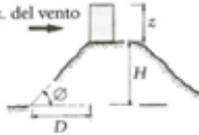
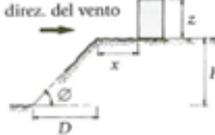
Coefficiente dinamico [§3.3.8]

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.



Coefficiente Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

1	2	3					
<p>Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina</p>  <p>$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma$</p>	<p>Costruzioni ubicate sul livello superiore</p>  <p>$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \frac{x}{H}\right) \geq 1$</p>	<p>Costruzioni ubicate su di un pendio</p>  <p>$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \frac{h}{H}$</p>					
<p>Coefficiente β</p>		<p>Coefficiente γ</p>					
per:	$\frac{z}{H} \leq 0,75$	$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$	$\frac{z}{H} \geq 2$	per:	$\frac{H}{D} \leq 0,10$	$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$	$\frac{H}{D} > 0,3$
β	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$	$\beta = 0$	γ	$\gamma = 0$	$\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$	$\gamma = 1$

Caso selezionato:

Condizione non isolata

Il coefficiente topografico vale: c_t 1,00

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

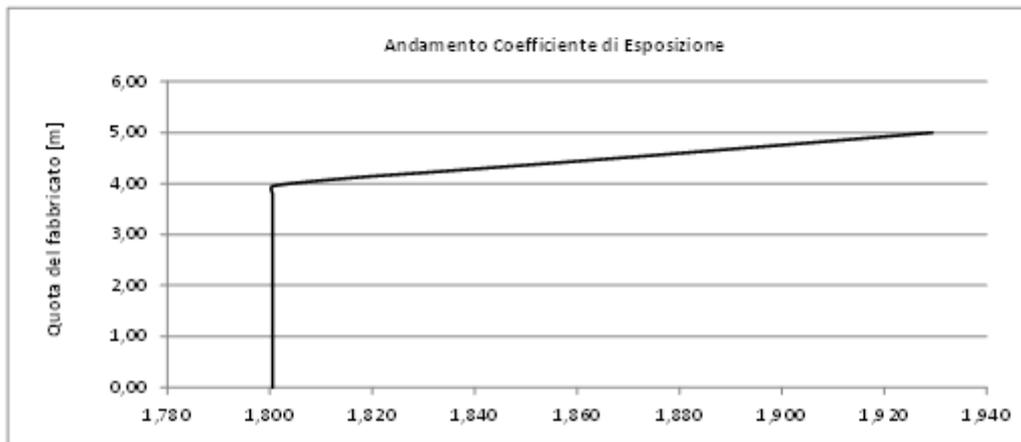
Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di $z=200m$ valgono le seguenti espressioni

$$c_e(z) = k_r \cdot c_{e,gronda} \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_{e,colmo} \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

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

k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
0,19	0,05	4,00

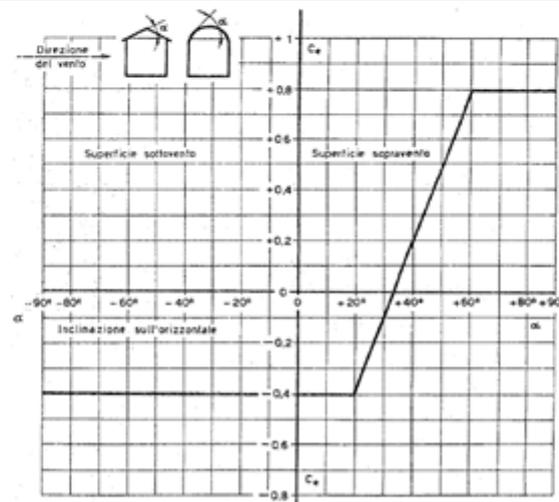
Coefficiente di esposizione minimo	$c_{e,min}$	1,80	$z < 4,00$
Coefficiente di esposizione alla gronda	$c_{e,gronda}$	1,80	$z = 0,50$
Coefficiente di esposizione al colmo	$c_{e,colmo}$	1,93	$z = 5,00$

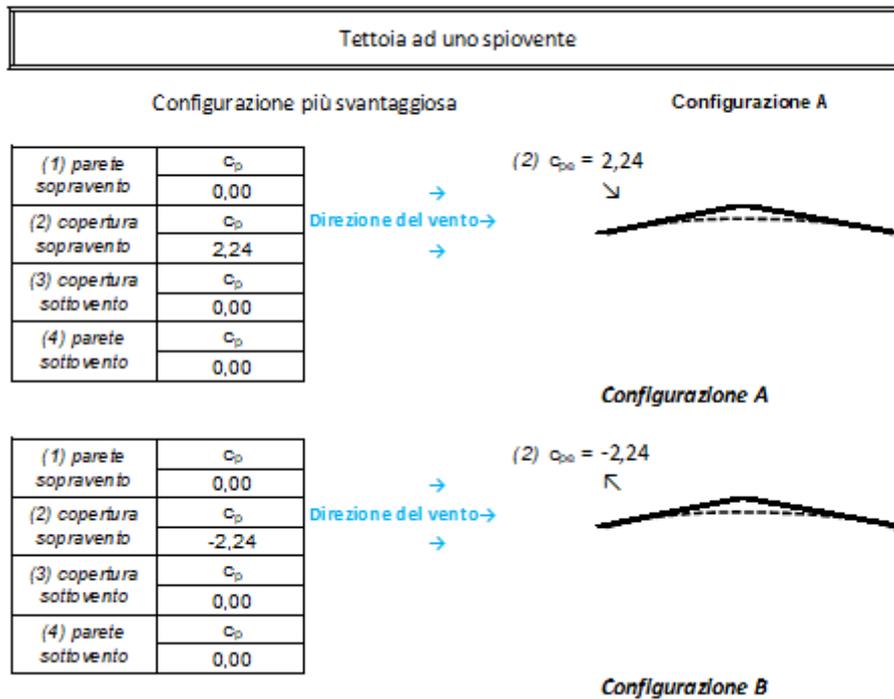


Coefficiente di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.





PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

p (pressione del vento) = $q \cdot c_d \cdot c_t \cdot c_e \cdot c_p$

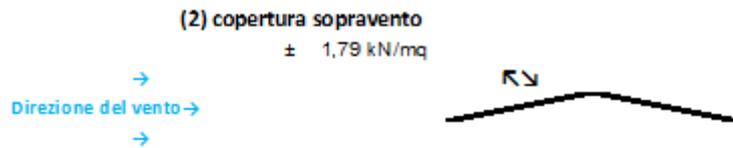
c_d (coefficiente dinamico) c_t (coefficiente topografico) c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

	p [kN/m ²]	c_d	c_t	c_e	c_p	P [kN/m ²]
(1) par. sopravent.	0,456	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00
(2) cop. sopravent.	0,456	1,00	1,00	1,929	2,24	1,97
(3) cop. Sottovent.	0,456	1,00	1,00	1,929	0,00	0,00
(4) par. sottovent.	0,456	1,00	1,00	1,801	0,00	0,00

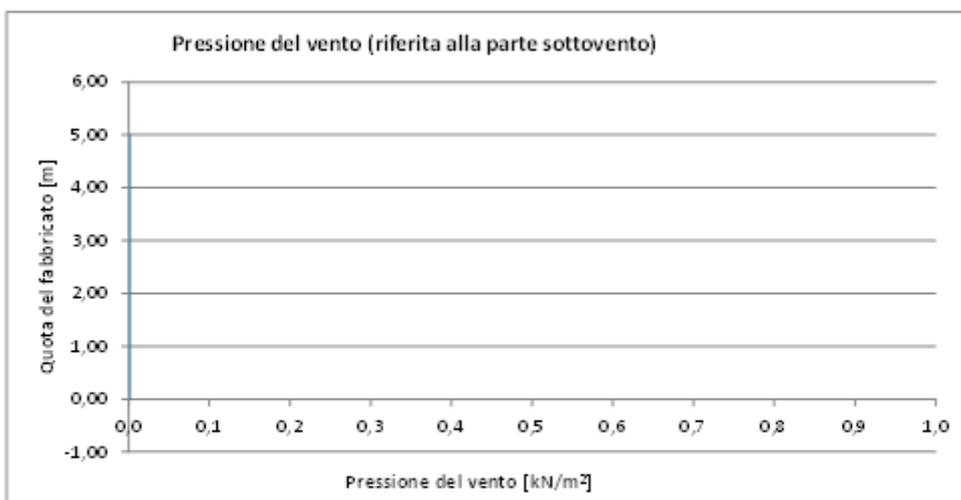
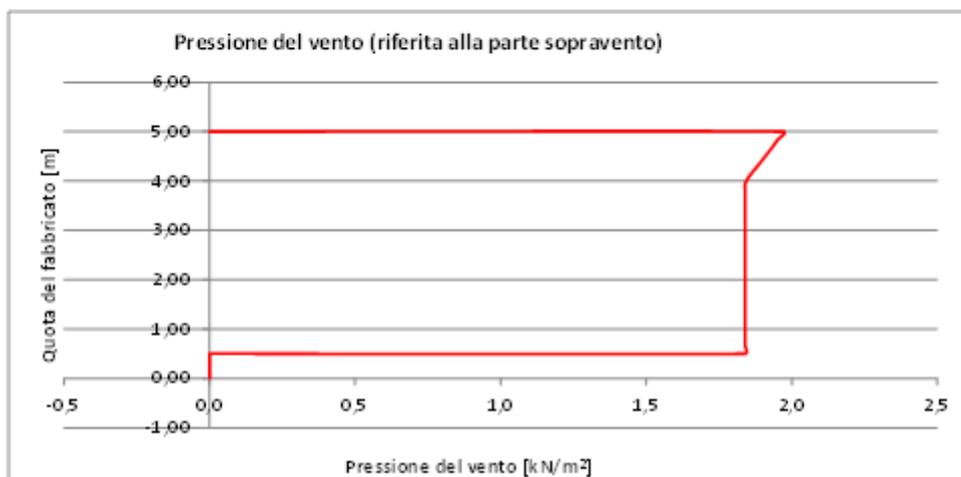


Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)



Il simbolo ± indica che bisogna considerare due combinazioni nel modello FEM

Andamento delle pressioni più svataggiose



PRESSIONI DEL VENTO IN DIREZIONE TANGENZIALE [§3.3.5]

Tipo di superfide:

Superficie liscia (acciaio, calcestruzzo a faccia liscia...)

Pressione tangenziale del vento q_{tan} 8,80 [N/m²]

*Si applica solitamente alle superfici piane di grande estensione

L'azione del vento così determinata sarà applicata alle strutture utilizzando l'opportuno coefficiente di forma in funzione delle caratteristiche geometriche della specifica struttura.

3.3 Azione sismica

Richiami normativi

Di seguito si riportano le tabelle estratte dalle NTC 2018

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine stenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la presenza di valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediani stenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente cc 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente stenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente cc 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite nelle categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prismatiche, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di alt

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove S_T assume valore unitario.

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

T è il periodo proprio di vibrazione;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T \quad [3.2.3]$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.IV) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.V);

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55, \quad [3.2.4]$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base dei materiali, della tipologia strutturale e del terreno di fondazione;

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato dalla relazione

$$T_C = C_C \cdot T_C^*, \quad [3.2.5]$$

dove T_C^* è definito al § 3.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.IV);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, dato dalla relazione

$$T_B = T_C / 3 \quad [3.2.6]$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad [3.2.7]$$

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad [2.4.1]$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adatteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

Parametri sismici del sito

LATITUDINE

41,3559550

LONGITUDINE

15,9772670

Tipologia di costruzione

2 – Opere ordinarie

Classe d'uso della struttura

Classe II

Fattore di Struttura "q"

q

1

Categoria di Sottosuolo

Tab. 3.2 II

C

Categoria topografica

Tab. 3.2 III

T1

Stato limite	a_d/g	F_0	T_c^*	a_0
Operatività (SLO)	0,0452 (g)	2,537	0,290 s	0,443 m/s ²
Danno (SLD)	0,0536 (g)	2,553	0,313 s	0,526 m/s ²
Salvaguardia vita (SLV)	0,1438 (g)	2,573	0,423 s	1,411 m/s ²
Collasso (SLC)	0,1931 (g)	2,543	0,431 s	1,894 m/s ²

	SLO	SLD	SLV	SLC
S_5 Amp. Stratigrafica	1,5000	1,500	1,478	1,405
C_c Coef. Funz. Categoria	1,5805	1,540	1,394	1,386
S_T Amp. Topografica	1,0000	1,000	1,000	1,000
S Amp. Sito $S=S_5 \cdot S_T$	1,5000	1,5000	1,4780	1,4054

Spettri SL

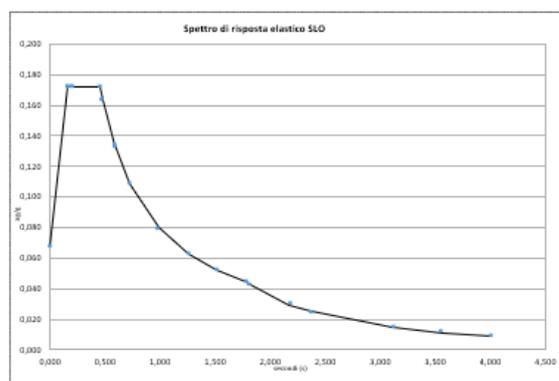
Definizione dei valori di S, TB, TC e TD dello spettro di risposta SLO			
S	1,50	C _c	1,580
T _b	0,153	T _c	0,458
		T _d	1,781

Dati spettro	
Secondi	Ordinata elast.
0,000	0,068
0,153	0,172
0,161	0,172
0,197	0,172
0,199	0,172
0,458	0,172
0,482	0,163
0,590	0,133
0,597	0,132
0,722	0,109
0,987	0,080
1,252	0,063
1,516	0,052
1,781	0,044
1,814	0,043
2,175	0,030
2,372	0,025
3,112	0,014
3,556	0,011
4,000	0,009

Inizio tratto orizzontale SLO (T_b)

Fine tratto orizzontale SLO (T_c)

Inizio ultimo tratto SLO (T_d)



Definizione dei valori di S, TB, TC e TD degli spettri di risposta SLD			
S	1,50	C _c	1,540
T _b	0,161	T _c	0,482
		T _d	1,814

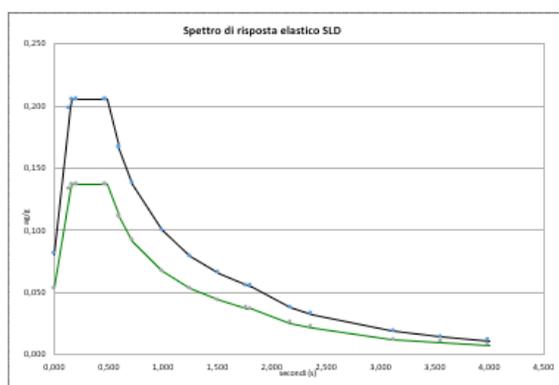
Dati spettro		
Secondi	Ordinata elast.	con $\eta=2/3$
0,000	0,080	0,054
0,153	0,199	0,133
0,161	0,205	0,137
0,197	0,205	0,137
0,199	0,205	0,137
0,458	0,205	0,137
0,482	0,205	0,137
0,590	0,168	0,112
0,597	0,166	0,110
0,722	0,137	0,091
0,987	0,100	0,067
1,252	0,079	0,053
1,516	0,065	0,044
1,781	0,056	0,037
1,814	0,055	0,036
2,175	0,038	0,025
2,372	0,032	0,021
3,112	0,019	0,012
3,556	0,014	0,009
4,000	0,011	0,007

<----- Colore verde nel grafico

Inizio tratto orizzontale SLD (T_b)

Fine tratto orizzontale SLD (T_c)

Inizio ultimo tratto SLD (T_d)



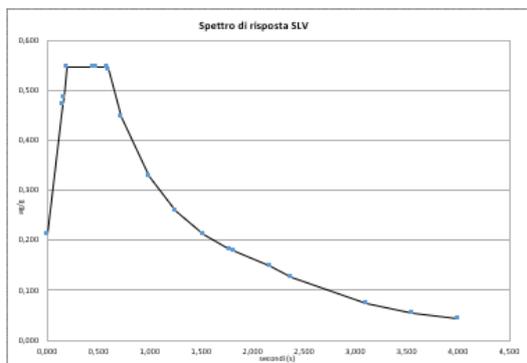
Definizione dei valori di S, TB, TC e TD dello spettro di risposta SLV			
S	1,478		C _v 1,3945
T ₁	0,197	T ₂ 0,590	T ₃ 2,175

Dati spe	Fattore di struttura	100
Secondi	Ordinata elast.	Ordinata SLU
0,000	0,213	0,213
0,153	0,472	0,472
0,161	0,486	0,486
0,197	0,547	0,547
0,199	0,547	0,547
0,458	0,547	0,547
0,482	0,547	0,547
0,590	0,547	0,547
0,597	0,540	0,540
0,722	0,447	0,447
0,987	0,327	0,327
1,252	0,258	0,258
1,516	0,213	0,213
1,781	0,181	0,181
1,814	0,178	0,178
2,175	0,148	0,148
2,372	0,125	0,125
3,112	0,072	0,072
3,556	0,056	0,056
4,000	0,044	0,044

Inizio tratto orizzontale SLV (T_b)

Fine tratto orizzontale SLV (T_c)

Inizio ultimo tratto SLV (T_d)



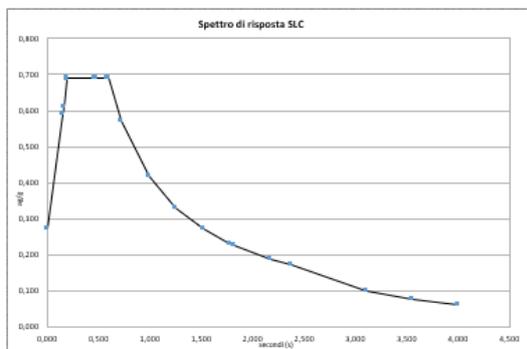
Definizione dei valori di S, TB, TC e TD dello spettro di risposta SLC			
S	1,4054		C _v 1,3861
T ₁	0,199	T ₂ 0,597	T ₃ 2,372

Dati spe	Fattore di struttura	100
Secondi	Ordinata elast.	Ordinata SLU
0,000	0,271	0,271
0,153	0,592	0,592
0,161	0,609	0,609
0,197	0,685	0,685
0,199	0,690	0,690
0,458	0,690	0,690
0,482	0,690	0,690
0,590	0,690	0,690
0,597	0,690	0,690
0,722	0,571	0,571
0,987	0,418	0,418
1,252	0,329	0,329
1,516	0,272	0,272
1,781	0,232	0,232
1,814	0,227	0,227
2,175	0,190	0,190
2,372	0,174	0,174
3,112	0,101	0,101
3,556	0,077	0,077
4,000	0,061	0,061

Inizio tratto orizzontale SLC (T_b)

Fine tratto orizzontale SLC (T_c)

Inizio ultimo tratto SLC (T_d)



4. Calcolo preliminare strutture – inseguitori solari

Le strutture sono rappresentate da inseguitori solari monoasse con sopra debitamente ancorati i moduli fotovoltaici le cui caratteristiche metriche e geometriche sono meglio rappresentate nelle allegate tavole grafiche. Tali strutture vengono infisse nel terreno mediante battitura dei montanti e senza utilizzo di calcestruzzo o altro materiale.

Il progetto di inseguitore solare monoassiale deve rispettare una serie di parametri che tengono conto degli effetti aeroelastici causati dal vento. Il miglioramento dell'elettronica è necessario anche per affrontare fenomeni meteorologici come cicloni, venti forti o tempeste elettriche.

Le strutture dei moduli saranno ancorate al terreno mediante infissione del montante per una profondità dimensionata in riferimento alle sollecitazioni indotte dalla sovrastruttura. I carichi dimensionanti sono quelli derivanti dalla combinazione delle azioni del vento incidente sulla struttura che provocano a

livello fondale degli sforzi assiali sul montante. Il predimensionamento della profondità di infissione è soddisfatto se l'azione assiale esercitata dal vento è equilibrata dalle azioni tangenziali dovute al contatto con il terreno.

In fase di progettazione esecutiva sarà definita l'effettiva profondità di infissione (preliminarmente dimensionata nell'ordine di 1,5 – 2,5 m) atta a garantire l'equilibrio statico del sistema compatibile con le caratteristiche geomeccaniche del terreno di sedime, desumibili dalla relazione geologica allegata al presente progetto definitivo.

I profili in acciaio zincato consentono una rapida e accurata installazione della struttura nel terreno. Il processo di guida su palo viene eseguito da macchine idrauliche in grado di realizzare circa 280 battiture al giorno.

L'azione dimensionante è rappresentata dalla pressione del vento che genera sui montanti infissi nel terreno sollecitazioni di trazione. Il predimensionamento consiste nel determinare la profondità di infissione dei montanti nel terreno tale da equilibrare il sistema al carico di sfilamento.

L'azione del vento sulla struttura è determinata seguendo la formulazione del paragrafo 3.3 NTC2018 mentre le caratteristiche geomeccaniche del terreno sono determinate in ragione dei risultati ottenuti dall'indagine geognostica e riportate nella relazione geologica.

Di seguito si riporta il prospetto riassuntivo delle verifiche geotecniche preliminari eseguite.

Classe di rugosità del terreno	D
ag (altitudine della costruzione)	30 m slm
Distanza dalla costa	9 km
Tr (tempo di ritorno)	50 anni
Categoria di esposizione	II
H _{min} tracker	0,5
H _{max} tracker	4,77
Angolo inclinazione massimo	60°
Velocità di riferimento del vento V _{b,0}	27 m/s
Pressione cinetica di riferimento q _r	456,29 N/m ²
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di forma C _e	+/- 2,24
Pressione del vento p	+/- 1,96 kN/mq
Superficie captante	196,74 mq
Numero montanti	7
Risultante della pressione sul singolo montante	55,09 kN
Risultante di trazione sul singolo montante	27,54 kN
Angolo di attrito interno del terreno medio	34°
Peso per unità di volume del terreno medio	17,8 kN/mc
Lunghezza di infissione	2,1 m
Tensione geostatica verticale massima	37,38 kN/mq
Risultante delle tensioni geostatiche verticali	39,25 kN

Ko	0,44
Tensione geostatica orizzontale	17,30 kN/mq
Tensione tangenziale	11,67 kN/mq
Superficie minima di contatto	3,15 mq
Rd	29,41 kN
γ_R	1,25
Verifica di sicurezza $\gamma_R R_d / F_d > 1$	1,07 - VERIFICATO

Tali verifiche teoriche sono da considerarsi preliminari in quanto non tengono conto di altre variabili che alterano la situazione teorica del terreno. Infatti già la tecnica di infissione con battipalo altera le caratteristiche teoriche del terreno il quale presenta una stratigrafia attuale che potrebbe essere modificata nello strato di coltre a seguito di parziali livellamenti. Inoltre le caratteristiche del terreno potrebbero variare anche all'interno dell'area di intervento e pertanto si rimanda alla progettazione esecutiva per la verifica geotecnica definitiva basata anche su valori di riferimento basati su prove di sfilamento eseguite mediante sollevatore telescopico a braccio fisso con interposto dinamometro.

5. Dimensionamento basamenti di fondazione di cabinet e container

Il predimensionamento delle piastre di fondazioni necessarie alla distribuzione dei carichi di cabinet, containers di contenimento inverters, trasformatori ed apparati elettrici viene eseguito considerando le caratteristiche del terreno di sedime desumibili dalla relazione geologica e le azioni trasmesse dalle sovrastrutture desumibili dalle schede tecniche degli apparati.

Di seguito si riportano le risultanze del calcolo eseguito e le relative verifiche geotecniche.

Caratteristiche dei materiali	
Classe del calcestruzzo	C30/37
Peso specifico del calcestruzzo	25 kN/mc
Peso specifico del magrone	24 kN/mc
Altezza dello strato di magrone	10 cm
Parametri sismici SLV	
Accelerazione massima su suolo rigido a_g	1,373 m/s ²
Coefficiente di amplificazione spettrale F_0	2,575
Periodo di inizio tratto a velocità costante T_c^*	0,423 s
Accelerazione di gravità g	9,81 m/s ²
Accelerazione orizzontale riferita al suolo rigido adimensionale a_g/g	0,140
Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo C_c	1,395
Periodo del tratto ad accelerazione costante T_B	0,197 s
Periodo del tratto a velocità costante T_c	0,509 s
Periodo del tratto a spostamento costante T_D	2,160 s
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ	5%
Coefficiente di correzione per smorzamento viscoso diverso dal 5%	1
Coefficiente sismico orizzontale k_h	0,079
Coefficiente sismico verticale k_v	+/- 0,039
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m	0,38

Tav. G	Relazione preliminare sulle strutture	28 di 32
--------	---------------------------------------	----------

Dati geometrici	
Dati fondazione B,L,h	3,00 m; 13 m; 0,20 m
Altezza affondamento zattera D	0,20 m
Angolo di inclinazione terreno di posa α	0,00°
Sollecitazioni	
Gk1 V, Gk1 HI, Gk1 Hb, Gk1 Mb, Gk1 MI	160 kN, 0, 0, 0, 0, 0
Gk2 V, Gk2 HI, Gk2 Hb, Gk2 Mb, Gk2 MI	270 kN, 0, 0, 0, 0, 0
Qk V, Qk HI, Qk Hb, Qk Mb, Qk MI	200 kN, 0, 0, 0, 0, 0

Condizione Drenate

6 CARICO LIMITE

q_{lim} 1403,9 [kN/m²]

Q_{lim} 54044,1 [kN]

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' B N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} \Psi_{\gamma} z_{\gamma} + c' N_c s_c d_c i_c b_c \Psi_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q \Psi_q z_q$$

↑
contributo
forze di **attrito**
↑
contributo
forze di **coesione**
↑
contributo
sovraccarico

7 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE

(ROTTURA GENERALE)

E_d 733,0 [kN]
 R_d 23497,4 [kN]
 e_d 19,0 [kPa]
 r_d 610,4 [kPa]

$E_d \leq R_d$

verificato
32,06

Condizione non drenata

6 CARICO LIMITE

q_{lim}	51,3	[kN/m ²]	Q_{lim}	1975,6	[kN]
-----------	------	----------------------	-----------	--------	------

$$q_{lim} = c_u N_{c,0} s_{c,0} d_{c,0} i_{c,0} b_{c,0} z_{c,0} + q$$

↑
↑
 contributo contributo
 forze di **coesione** **sovraccarico**

7 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE
(ROTTURA GENERALE)

E_d	733,0	[kN]	$E_d \leq R_d$	verificato
R_d	859,0	[kN]		
e_d	19,0	[kPa]		
r_d	22,3	[kPa]		

Per quanto riguarda invece la sovrastruttura si farà riferimento alle verifiche strutturali già predisposte dai fornitori che accompagneranno le diverse strutture.

Per le caratteristiche geometriche si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

6. Pali di illuminazione e videosorveglianza

La verifica strutturale degli elementi lineari in progetto, necessari per la realizzazione del sistema di illuminazione delle aree, utilizzati anche quali sostegni per gli apparati elettrici di videosorveglianza, consiste nel determinare la profondità di infissione nel terreno tale da soddisfare i requisiti di sicurezza strutturale delle parti in elevazione nei confronti delle azioni dinamiche indotte dal vento. Si ha stabilità quando il volume del terreno intorno alla base del palo è in grado di contrastare il momento di abbattimento generato dalle azioni del vento $Q=(h+c/2)$ con h altezza fuori terra del palo e c profondità di infissione.

Definendo k = pressione sul terreno limite con valori tipici di circa 3,9 daN/cm² per ghiaie, sabbia asciutta compatta; 2,0 daN/cm² per terreno vegetale consistente e 1,0 daN/cm² per terreno di riporto e argilla umida sabbiosa, la verifica è soddisfatta quando

$$\sigma_c \leq k$$

Il valore di σ_c è calcolabile mediante la relazione

$$\sigma_c = \frac{\left(h + \frac{c}{2}\right)}{\pi \cdot \frac{D \cdot c^2}{48} \cdot 10^4} \leq k$$

Indicando con D il diametro del palo in prossimità del terreno.

Con la soprariportata relazione empirica è possibile determinare la profondità di infissione minima che garantisce l'equilibrio del sistema. È rinviata alla fase di progettazione esecutiva l'effettivo dimensionamento in ragione delle sezioni definitive dei lampioni e delle relative caratteristiche meccaniche dei materiali.

Per le caratteristiche geometriche si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

7. Recinzioni e cancelli

Assimilando recinzioni e cancelli a strutture a mensole incastrate al terreno (per i cancelli lo schema vale per i pilastri terminali), si considera che le tensioni sulla mensola vengono determinate dalla spinta orizzontale con conseguente generazione di una matrice di sollecitazione alla base. Con tale schema statico è possibile stimare i momenti di ribaltamento dei montanti e conseguentemente determinare la profondità di infissione della recinzione in ragione dell'effettiva modalità di posa. Per i cancelli allo stesso modo si dimensiona il basamento in calcestruzzo delle colonne.

Il calcolo esatto è rinviato alla fase esecutiva di progettazione con riferimento alle definitive caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati.

Per le caratteristiche geometriche si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

8. Edificio di controllo

Per ciò che riguarda l'edificio di controllo interno all'area Storage le verifiche strutturali dovranno riguardare il soddisfacimento dei valori di sicurezza attesi ai diversi stati limite di riferimento in ragione della tipologia strutturale, delle caratteristiche di resistenza dei materiali e della geometria degli elementi.

Considerando le azioni elementari statiche e dinamiche determinabili secondo quanto riportato al capitolo 3 della presente relazione preliminare è possibile definire le azioni di calcolo da introdurre al modello strutturale per operare le opportune verifiche strutturali.

Trattandosi di corpi di fabbrica standard è certamente garantita la compatibilità strutturale e pertanto si rimanda al progetto esecutivo per le verifiche di sicurezza richieste dalle norme tecniche per come previsto dalla Legge.

Per le caratteristiche geometriche si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

Tav. G	Relazione preliminare sulle strutture	31 di 32
--------	---------------------------------------	----------

Conclusioni

Vista la natura dell'opera le azioni significative per il pre-dimensionamento delle strutture di sostegno degli inseguitori solari sono rappresentate dalla distribuzione dei carichi derivanti dalle azioni del vento. Altre azioni minori e certamente non dimensionanti, sono rappresentate dal peso proprio delle strutture, dal carico da neve e dalle azioni dinamiche indotte dalle sollecitazioni sismiche.

Le sollecitazioni derivanti da dette azioni risultano secondarie all'analisi strutturale rispetto alle azioni dinamiche indotte dal vento, visto soprattutto la trascurabile massa dei moduli che ricopre un ruolo determinante nelle verifiche statiche e dinamiche da sisma. Inoltre, vista la posizione dell'area di intervento i carichi da neve risultano marginali.

Per ciò che riguarda le restanti componenti minori quali container, cabinet, recinzioni, cancelli e pali di illuminazione, trattandosi di elementi standard si rimanda alla fase di progettazione esecutiva per le specifiche verifiche della sicurezza strutturale essendo comunque valutata, in via preliminare, la compatibilità strutturale delle opere in progetto.

Rinviando alla progettazione esecutiva la verifica strutturale delle opere secondo i dettami delle NTC2018, considerando quindi l'analisi dei carichi rigorosa e la combinazione delle azioni sui vari elementi strutturali, dalle verifiche svolte è evidente la piena compatibilità dell'opera per come pre-dimensionata, sotto l'aspetto statico e dinamico.

In merito agli impianti presenti, come meglio dettagliatamente riportati negli elaborati del progetto definitivo, si precisa che sono state considerate tutte le necessità del progetto, sia in termini di apparati che di apparecchiature e che pertanto i volumi tecnici necessari saranno esclusivamente quelli riportati nel presente progetto definitivo. Inoltre, in merito al dimensionamento elettrico dei cavidotti si precisa che i risultati riportati nella relazione tecnica delle opere elettriche e nelle tavole elettriche allegate al progetto definitivo sono frutto di verifiche eseguite nel rispetto delle normative tecniche di settore e che pertanto si confermano i dati di progetto.

I progettisti



(dott. ing. Giovanni Guzzo Foliaro)



(dott. ing. Amedeo Costabile)



(dott. ing. Francesco Meringolo)

Tav. G	Relazione preliminare sulle strutture	32 di 32
--------	---------------------------------------	----------