

PROPONENTE: **AME ENERGY S.r.l.**

Via Pietro Cossa, 5 20122 Milano (MI) - ameenergysrl@legalmail.it - PIVA 12779110969

REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI POTENZA
COMUNE DI BANZI

Titolo del Progetto:

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO UBICATO NEL COMUNE DI BANZI (PZ) IN LOC. "LA ROCCA", CON POTENZA DI PICCO PARI A 25,1 MW_p E OPERE CONNESSE RICADENTI NEI COMUNI DI BANZI (PZ) E PALAZZO SAN GERVASIO (PZ)

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

BANPV-T028

ID PROGETTO:	255	DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	R	FORMATO:	A4
--------------	------------	-------------	-----------	------------	----------	----------	-----------

Elaborato:

RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE TRACKER E CABINE DI TRASFORMAZIONE

FOGLIO:	34	SCALA:	-	Nome file:	BANPV-T028.docx
---------	-----------	--------	----------	------------	------------------------

Progettazione:

IPROJECT S.R.L.



**Consulenza, Progettazione e Sviluppo Impianti
ad Energia Rinnovabile**

Sede Legale: Via Del Vecchio Politecnico, 9 - 20121 Milano (MI)

P.IVA 11092870960-PEC: i-project@legalmail.it

Sede Operativa: Via Bisceglie n° 17 - 84044 Albanella (SA)

-mail: a.manco@iprojectsrl.com

Cell: 3384117245

Progettista: Arch. Antonio Manco



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	24/11/2023	Prima emissione	Ing. Vincenzo Oliveto	Arch. Antonio Manco	Arch. Antonio Manco

INDICE

1	PREMESSA	2
2	AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	3
3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
4	ASPETTI GEOTECNICI	5
4.1	Caratterizzazione geotecnica del sito.....	5
4.2	Caratterizzazione sismica del sito.....	5
4.3	Risposta sismica locale	6
4.4	Interpretazione ed analisi dei dati sismici	7
5	DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER	12
6	VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO	14
6.1	Cabine di trasformazione	14
6.2	Cabina di controllo.....	16
6.3	Cabina di Smistamento.....	17
7	AZIONI SULLE STRUTTURE E PARAMETRI SIMICI DI CALCOLO	20
7.1	Regolarità delle strutture e fattore di struttura	20
7.2	Combinazioni delle azioni sulla costruzione.....	20
7.3	Destinazione d'uso e sovraccarichi variabili dovuto alle azioni antropiche	22
7.4	Modello Di Calcolo.....	22
7.5	Durabilità	23
7.6	Misura Della Sicurezza	23
7.7	Schematizzazione della Struttura	24
7.8	Combinazione di Calcolo	25
8	ANALISI DEI CARICHI	27
8.1	Localizzazione dell'intervento	27
8.2	Analisi dei carichi	27
8.2.1	Carichi permanenti G.....	27
8.2.2	Calcolo delle azioni del vento	28
8.2.3	Calcolo delle azioni da neve	32
9	CONCLUSIONI	34

1 PREMESSA

La presente relazione preliminare di calcolo strutturale riguarda il progetto di una centrale di produzione di energia elettrica da fonte energetica rinnovabile avente potenza nominale pari a 25,1 MWp, attraverso tecnologia fotovoltaica che sarà realizzata nel territorio comunale di Banzi (PZ) in località "La Rocca".

La relazione ha lo scopo di definire la geometria degli elementi strutturali di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle fondazioni delle cabine a servizio del progetto per la realizzazione dell'impianto e di fornire indicazioni sulla modalità di calcolo che verrà utilizzata per dimensionare suddetti elementi strutturali.

Resta inteso che le effettive strutture saranno opportunamente calcolate e verificate in sede di progettazione esecutiva e che la tipologia individuata potrà essere sostituita con altra similare sempre nel rispetto di dimensioni e sistema di inseguimento solare.

Le strutture utilizzate sono quindi rappresentate da inseguitori solari monoassiali denominati "tracker" con sopra ancorati i moduli fotovoltaici le cui caratteristiche dimensionali e geometriche sono meglio rappresentate nelle pagine seguenti. Tali strutture vengono infisse nel terreno mediante battitura dei montanti e senza utilizzo di calcestruzzo o altro materiale.

Le altre strutture presenti nel progetto sono elementi prefabbricati e/o accessori funzionali preassemblati forniti e posati in opera da ditte specializzate e quindi accompagnati da idonea certificazione di conformità anche sotto il profilo strutturale.

2 AREA DI INTERVENTO E DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'area per l'installazione dell'impianto agrivoltaico si trova nel territorio comunale di Banzi (PZ) in località "La Rocca" su lotti di terreno distinti al N.T.C. Foglio 5 p.lle 116, 117, 59, 119, 78, 91e 99 e Foglio 4 p.lle 132, 117, 76, 81, 77, 57, 58 e 648.

L'impianto risiederà su un appezzamento di terreno posto ad un'altitudine media di 460 m s l m, dalla forma poligonale irregolare; dal punto di vista morfologico, il lotto è una superficie orograficamente non omogenea sulla quale saranno disposte le strutture degli inseguitori solari orientate secondo l'asse Nord-Sud.

L'area, oggetto di studio, è un terreno rurale, attualmente coltivato e circondato da terreni agricoli caratterizzati prevalentemente dalla medesima coltura o da seminativo semplice. Non si constata presenza di ombreggiamento dovuto alla presenza di alberi ad alto fusto o edifici, che possano ostacolare l'irraggiamento diretto durante tutto l'arco della giornata. Il sito confina prevalentemente con terreni agricoli e una parte dell'impianto confina con la SP6. L'area è raggiungibile percorrendo strade vicinali o provinciali. La viabilità interna al sito sarà garantita da una rete di strade interne in terra battuta, predisposte per permettere il naturale deflusso delle acque ed evitare l'effetto barriera. La potenza nominale del generatore fotovoltaico, data dalla somma delle potenze nominali dei singoli moduli fotovoltaici, è pari a 25,1 MWp e sulla base di tale potenza è stato dimensionato tutto il sistema.

3 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- **D.M 17/01/2018** – *“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”*.
- **Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7:** *“Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018”*.
- **Legge n° 64 del 02/02/1974:** *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*.
- **Legge 05/11/1971 n.1086:** *“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a strutture metalliche”*.
- **UNI EN 1090-1:** *“Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte n 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali”*.
- **CEI 82-74:** *“Metodi di calcolo delle azioni del vento e criteri di dimensionamento di strutture di supporto di moduli fotovoltaici o di collettori solari”*.

4 ASPETTI GEOTECNICI

4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Per la caratterizzazione geotecnica del sito oggetto d'intervento, sono state considerate le seguenti indagini geognostiche:

- sondaggi a carotaggio continuo con SPT e con prelievo di campioni Indisturbati realizzate in aree limitrofe per altri progetti;
- la realizzazione in sito d'intervento di n°3 prove sismiche MASW (atte ad effettuare la caratterizzazione sismica del sito in relazione alla nuova normativa D.M. 17/01/2018).

Dalle elaborazioni di queste indagini sono stati ricavati i parametri geotecnici rappresentativi delle reali condizioni del territorio in esame, in base alle quali si può affermare che la situazione stratigrafica presenta terreni con buone caratteristiche geotecniche.

Tali indagini geognostiche saranno integrate con sondaggi diretti in sito per la fase esecutiva del progetto.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato **BANPV-T077 Relazione compatibilità idrogeologica**.

4.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Il territorio comunale di Banzi (PZ), a seguito della riclassificazione sismica del 2002, è classificato in II categoria - S=9 - ag=0.25g.

Per la modellazione sismica dell'area in oggetto vengono considerate **n. 3 prove sismiche MASW** realizzate nell'area del parco agrivoltaico e da dati bibliografici al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

I risultati forniti dalle indagini sismiche MASW effettuate permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B**, con valori di V_{Seq} calcolati pari a:

<i>Prospezione sismica</i>	<i>$V_{S\ 0-28.2}$ (m/s)</i>	<i>$V_{S\ 0-30}$ (m/s)</i>
<i>MASW n. 1</i>	-	<i>[543]</i>
<i>MASW n. 2</i>	<i>[450]</i>	-
<i>MASW n. 3</i>	-	<i>[419]</i>

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T1** sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici.

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

<i>Prospezione sismica</i>	<i>a_g SLD</i>	<i>a_g SLV</i>	<i>S_e [g] SLD</i>	<i>S_e [g] SLV</i>
<i>MASW n. 1</i>	<i>[0.045]</i>	<i>[0.110]</i>	<i>[0.151]</i>	<i>[0.379]</i>
<i>MASW n. 2</i>	<i>[0.046]</i>	<i>[0.112]</i>	<i>[0.135]</i>	<i>[0.342]</i>
<i>MASW n. 3</i>	<i>[0.045]</i>	<i>[0.110]</i>	<i>[0.145]</i>	<i>[0.366]</i>

4.3 RISPOSTA SISMICA LOCALE

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze delle prospezioni sismiche MASW precedentemente descritte.

Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1$ – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di sottosuolo B – categoria topografica T1) individuata nell'area oggetto di indagine.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato **BANPV-T077 Relazione compatibilità idrogeologica**.

4.4 INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI SISMICI

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Banzi (PZ) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.125 e 0.175 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

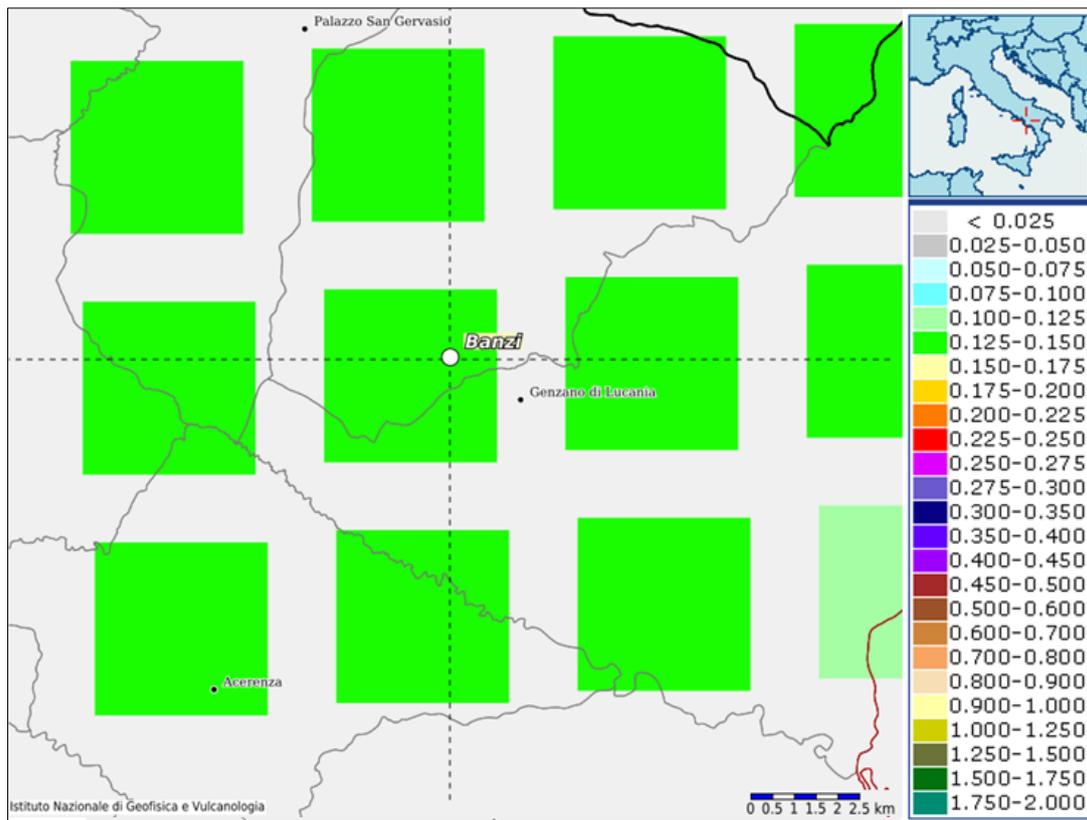


Figura 1: Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano

La Normativa Italiana prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura, che dello spessore della stessa. Vengono identificate, in tal modo, 5 classi, ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

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

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

Figura 2: *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato*

In riferimento ai dati delle indagini geofisiche, i siti oggetto di intervento possono essere classificati come appartenenti alla **Categoria Suolo di Fondazione B**.

La risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali di terreno, sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

La stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_s > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento. Più precisamente la pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in tale sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Il suddetto lasso di tempo è denominato "periodo di riferimento" V_R , mentre la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PV_R . Il periodo di riferimento V_R è dato per ciascun tipo di costruzione dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N C_U$$

dove:

V_N = vita nominale della costruzione

C_U = coefficiente d'uso dipendente dalla classe d'uso dell'opera

In particolare la vita nominale di una costruzione V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo alla quale è destinata. Il coefficiente d'uso C_U esprime la Classe d'uso nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso.

Sulla base di quanto indicato nelle normative per le opere in progetto si assume $V_N \geq 50$ anni:

- Vita nominale: 35;
- Classe d'uso: I
- Categoria Suolo di fondazione: B
- Categoria topografica: T1

Per quanto riguarda le probabilità P_{VR} di superamento nel periodo di riferimento V_R esse variano al variare dello stato limite considerato. In particolare i valori cui riferirsi per individuare l'azione sismica sono riportati nella tabella sottostante:

STATO LIMITE		P_{VR} - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento
		V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

dove:

SLO = Stato Limite di Operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

SLD = Stato Limite di Danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLV = Stato Limite di Salvaguardia della Vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Fissato il periodo di riferimento V_R e la probabilità di superamento PV_R , il periodo di ritorno T_R si ricava mediante l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - PV_R)}$$

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri a_g , F_0 , e T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun SL, che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione $S_e(T)$.

I risultati forniti dalle indagini sismiche MASW effettuate permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria B, con valori di V_{Seq} calcolati pari a:

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-15.2}$ (m/s)	$V_{S\ 0.30}$ (m/s)
MASW_1		543
MASW_2	450	
MASW_3		419

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo B e della categoria topografica T1 sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici.

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione: VN \geq 50 anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione: CU = 1
- Classe d'uso della costruzione: II.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra TB e TC, relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
0.045	0.110	0.144	0.362

5 DESCRIZIONE E CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACKER

L'impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione tecnica, ha una potenza di picco di 25,1 MWp, intesa come somma delle potenze nominali dei moduli scelti per realizzare il generatore. Il dimensionamento del generatore fotovoltaico è stato eseguito applicando il criterio della superficie disponibile, tenendo dei distanziamenti da mantenere tra i filari di tracker per evitare fenomeni di auto-ombreggiamento e degli spazi necessari per l'installazione delle stazioni di conversione e trasformazione dell'energia elettrica.

Per massimizzare la producibilità energetica è previsto l'utilizzo di tracker monoassiali del tipo 2P fino a 26 moduli. Complessivamente saranno realizzate 1370 stringhe costituite da 26 moduli da 705 Wp in serie da distribuire sui 77 inverter di stringa. Sono stati così posizionati 1370 tracker da 26 moduli da 705 Wp per un totale di 35620 moduli ed una potenza del generatore pari a 25112,1 kWp. I moduli scelti sono in silicio monocristallino, hanno una potenza nominale di 705 Wp bifacciali e sono costituiti da 132 celle fotovoltaiche; le dimensioni del modulo sono di 1303 mm x 2384 mm. Questi ultimi sono montati su profili omega collegati al sistema di sostegno ad inseguimento solare monoassiale denominato tracker. I moduli sono montati sulla struttura lungo il lato lungo ed hanno la possibilità di ruotare nella direzione Est-Ovest con inclinazione massima di $\pm 45^\circ$ in modo da ottimizzare la produzione di energia elettrica.

La struttura di sostegno è costituita da profilati metallici in acciaio opportunamente dimensionati; i profili omega si attestano orizzontalmente ad un'altezza di circa 3,1 m in fase di riposo, mentre in fase di esercizio raggiungono una quota massima di circa 5,1 metri di altezza rispetto alla quota del terreno. L'asse di rotazione del tracker è uno scatolare in acciaio e il suo movimento è generato dalla presenza di un attuatore.

Tale struttura orizzontale viene appoggiata a pilastri in acciaio di forma regolare ed infissi nel terreno ad una profondità variabile in funzione delle caratteristiche litologiche del suolo.

Saranno posizionate due tipologie di tracker:

- Tracker da 26 moduli, di dimensioni in pianta di 15,2 x 5,2 m circa;

L'intera struttura di sostegno del tracker rappresenta lo schema statico che verrà utilizzato per il calcolo e la verifica degli elementi strutturali in fase definitiva.

Verranno inoltre studiate le due configurazioni di calcolo:

-
- configurazione $\alpha = 45^\circ$
 - configurazione $\alpha = 0^\circ$

6 VANI ACCESSORI IN C.A. PREFABBRICATI E IN ACCIAIO

Vengono di seguito descritte le caratteristiche dei vani accessori facente parte dell'impianto di produzione. È prevista la realizzazione di:

- n.1 Cabina di Smistamento; Box prefabbricato in cemento armato vibrato. Dimensioni mm 7520x2520x2620 mm.
- n.6 Cabine di Trasformazione; Skid metallico. Misure esterne LxWxH (mm) 6058x2438x2896;
- n. 1 Cabina di Controllo; Skid metallico. Misure esterne LxWxH (mm) 4000x2438x2896.

Tutti i vani accessori poggeranno su piastre di fondazioni in c.a. di dimensioni variabili che saranno opportunamente dimensionate in fase di progettazione esecutiva.

6.1 CABINE DI TRASFORMAZIONE

Le cabine di trasformazione hanno la funzione di accorpare l'energia elettrica prodotta dai singoli inverter di stringa del campo fotovoltaico e di elevare la tensione da bassa (bt) a media tensione (MT).

L'energia prodotta dal sistema di conversione CC/CA (inverter) sarà immessa nel lato bt di un trasformatore 30/0,8 kV di potenza variabile tra 4480 kVA e 6400 kVA.

La cabina di trasformazione è costituita da elementi prefabbricati di tipo containerizzati, progettati per garantire la massima robustezza meccanica e durabilità nell'ambiente in cui verranno installati. Tutte le componenti verranno installate all'interno di apposito shelter metallico IP54 con differenti compartimenti per le diverse sezioni di impianto. Le pareti e il tetto dello shelter sono isolati al fine di garantire una perfetta impermeabilità all'acqua e un corretto isolamento termico.

Ciascuna cabina di trasformazione conterrà al suo interno un quadro in bassa tensione per la protezione dell'interconnessione tra gli inverter e il trasformatore. Nella stessa sarà presente un impianto elettrico completo di cavi di alimentazione, di illuminazione, di prese elettriche di servizio, dell'impianto di messa a terra adeguatamente dimensionato e quanto necessario al perfetto funzionamento della cabina. Saranno inoltre presenti le protezioni di sicurezza, il sistema centralizzato di comunicazione con interfacce in rame e fibra ottica.

Tutte le componenti esterne saranno dotate di tutti quei provvedimenti al fine di garantire la massima protezione in condizioni climatiche quale l'ambiente di installazione.

Per una completa accessibilità ai vari comparti, saranno adottati tutti quei provvedimenti in modo che tutti i dispositivi installati siano immediatamente accessibili, rendendo più agevole l'ispezione, la manutenzione e la riparazione.

Le pareti e la pavimentazione sono sufficientemente isolati attraverso dei pannelli che garantiscono anche l'impermeabilizzazione dell'intero impianto. In più, dal punto di vista strutturale, sarà realizzato un collegamento tra lo shelter e la sua fondazione al fine di prevenire qualsiasi tipo di spostamento verticale dello shelter.

In corrispondenza del pavimento sono presenti alcune aperture per il passaggio dei cavi e aperture per accesso alla fondazione.

Tutti i componenti metallici sono trattati prima dell'assemblaggio. Le pareti esterne sono invece trattate mediante l'uso un rivestimento impermeabile e additivi che consentono di garantire la completa aderenza alla struttura, resistenza massima agli agenti atmosferici anche in ambienti industriali e marini fortemente aggressivi. Tutti gli ambienti, sono attrezzati con porte con apertura esterna. Nel suo complesso, la cabina di trasformazione avrà dimensioni in pianta pari a 6,00 x 2,50 m e altezza massima pari a circa 2.9 m.

Si rappresenta che i modelli delle cabine di trasformazione possono essere soggetti a variazioni in ragione delle mutate condizioni di mercato e di disponibilità che potranno verificarsi nel tempo.

In fase esecutiva saranno forniti dal produttore gli elaborati di calcolo strutturale ai fini del deposito presso gli uffici del Genio Civile competente.

La platea di fondazione verrà realizzata in cls armato sulla quale verranno affogate delle piastre metalliche che saranno saldate ai pilastri dello shelter metallico. Verrà inoltre predisposto un opportuno scavo per la posa della vasca di raccolta olio del trafo.

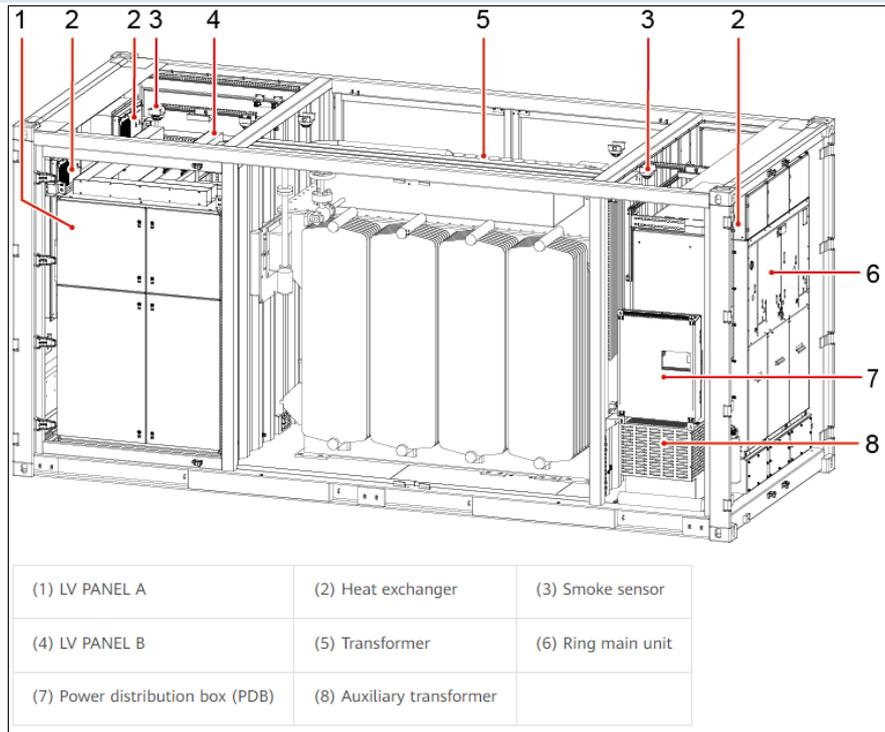


Figura 3: Esploso della cabina di trasformazione

6.2 CABINA DI CONTROLLO

La cabina di controllo ha la funzione di contenere tutte le apparecchiature preposte al controllo e alla supervisione dell'impianto agrivoltaico. Inoltre all'interno di tale cabina verrà ubicato anche le apparecchiature per la videosorveglianza e l'illuminazione.

La cabina di controllo è costituita da elementi prefabbricati di tipo containerizzati, progettati per garantire la massima robustezza meccanica e durabilità nell'ambiente in cui verranno installati.

Tutte le componenti verranno installate all'interno di apposito shelter metallico IP54 con differenti compartimenti per le diverse sezioni di impianto. Le pareti e il tetto dello shelter sono isolati al fine di garantire una perfetta impermeabilità all'acqua e un corretto isolamento termico.

La cabina di trasformazione conterrà al suo interno un quadro in bassa tensione ed i quadri e server di controllo e supervisione dell'impianto. Nella stessa sarà presente un impianto elettrico completo di cavi di alimentazione, di illuminazione, di prese elettriche di servizio, dell'impianto di messa a terra adeguatamente dimensionato e quanto necessario al perfetto funzionamento della cabina. Saranno inoltre presenti le protezioni di sicurezza, il sistema centralizzato di comunicazione con interfacce in rame e fibra ottica.

Tutte le componenti esterne saranno dotate di tutti quei provvedimenti al fine di garantire la massima protezione in condizioni climatiche quale l'ambiente di installazione.

Per una completa accessibilità ai vari comparti, saranno adottati tutti quei provvedimenti in modo che tutti i dispositivi installati siano immediatamente accessibili, rendendo più agevole l'ispezione, la manutenzione e la riparazione.

Le pareti e la pavimentazione sono sufficientemente isolati attraverso dei pannelli che garantiscono anche l'impermeabilizzazione dell'intero impianto. In più, dal punto di vista strutturale, sarà realizzato un collegamento tra lo shelter e la sua fondazione al fine di prevenire qualsiasi tipo di spostamento verticale dello shelter.

In corrispondenza del pavimento sono presenti alcune aperture per il passaggio dei cavi e aperture per accesso alla fondazione.

Tutti i componenti metallici sono trattati prima dell'assemblaggio. Le pareti esterne sono invece trattate mediante l'uso un rivestimento impermeabile e additivi che consentono di garantire la completa aderenza alla struttura, resistenza massima agli agenti atmosferici anche in ambienti industriali e marini fortemente aggressivi. Tutti gli ambienti, sono attrezzati con porte con apertura esterna. Nel suo complesso, la cabina di trasformazione avrà dimensioni in pianta pari a 4,00 x 2,50 m e altezza massima pari a circa 2.9 m.

In fase esecutiva saranno forniti dal produttore gli elaborati di calcolo strutturale ai fini del deposito presso gli uffici del Genio Civile competente.

La platea di fondazione verrà realizzata in cls armato sulla quale verranno affogate delle piastre metalliche che saranno saldate ai pilastri dello shelter metallico.

6.3 CABINA DI SMISTAMENTO

La cabina di smistamento ha la funzione di collegare le varie cabine di trasformazione delle varie aree e dei vari sottocampi del campo fotovoltaico alla cabina di consegna tramite linee MT a 30 kV. La cabina di smistamento è realizzata con una struttura ad elementi prefabbricati in c.a.v. monoblocco costituita da un basamento di fondazione prefabbricato "a vasca" e da una struttura in elevazione fuori terra. La cabina è prodotta, assemblata e collaudata interamente in stabilimento. Una volta assemblata con tutte le apparecchiature, la struttura è trasportata e messa in opera completa di tutti gli accessori e delle apparecchiature elettromeccaniche

Il box è realizzato con struttura ad elementi prefabbricati monoblocco in calcestruzzo armato vibrato tale da garantire pareti interne lisce senza nervature e con superficie interna costante lungo tutte le sezioni orizzontali. Le dimensioni esterne sono circa 7.5 x 2.5x 2.90.

La cabina di smistamento assicura un grado di protezione verso l'esterno IP 33.

La cabina conterrà al suo interno un quadro MT, un trafo AUX, un UPS e un quadro bt. Nella stessa sarà presente un impianto elettrico completo di cavi di alimentazione, di illuminazione, di prese elettriche di servizio, dell'impianto di messa a terra adeguatamente dimensionato e quanto necessario al perfetto funzionamento della cabina. Saranno inoltre presenti le protezioni di sicurezza, il sistema centralizzato di comunicazione con interfacce in rame e fibra ottica.

Il basamento di fondazione è costituito da un manufatto prefabbricato con struttura monoblocco di tipo "a vasca" in grado al tempo stesso di garantire una omogenea distribuzione dei carichi relativi alla struttura sul terreno, e la massima flessibilità per quanto riguarda la distribuzione dei cavi all'interno della cabina elettrica grazie all'intercapedine di 60 cm. sotto al pavimento.

Il basamento di fondazione è dotato, su tutti i lati, di diaframmi a frattura prestabilita Ø 200 mm. Per il passaggio dei cavi. Il sistema a frattura prestabilita garantisce la tenuta idraulica anche in assenza di cavi. Le predisposizioni a frattura prestabilita, posizionate ad una altezza dal fondo interno di 8 cm permettono, in caso di sversamenti accidentali d'olio dal trasformatore, un contenimento di almeno 600 litri.

Il basamento di fondazione è inoltre dotato di due connettori di terra in acciaio che annegati nel calcestruzzo e collegati all'armatura metallica, consentano il collegamento interno-esterno dell'impianto di messa a terra.



Figura 4: Tipica cabina di smistamento

7 AZIONI SULLE STRUTTURE E PARAMETRI SIMICI DI CALCOLO

7.1 REGOLARITÀ DELLE STRUTTURE E FATTORE DI STRUTTURA

Il fattore di struttura da adottare per il calcolo è quello associato alle strutture intelaiate in acciaio ($q = 1,5$), mentre per le verifiche geotecniche delle opere di fondazione si fa riferimento a strutture non dissipative, come previsto dalle NTC18. Trattandosi quindi di fondazioni superficiali, progettate in campo elastico, il fattore di struttura q sarà automaticamente determinato e pari a 1. Le fondazioni, dovendo essere progettate per rimanere in campo elastico, non necessiteranno quindi di specifiche armature per ottenere un comportamento duttile.

Tutte le strutture sono considerate regolari così come previsto dalle regole delle NTC18.

7.2 COMBINAZIONI DELLE AZIONI SULLA COSTRUZIONE

Le azioni definite come al paragrafo 2.5.1 delle NTC 2018, dovranno essere combinate in accordo a quanto definito al paragrafo 2.5.3 delle stesse NTC, applicando i seguenti coefficienti di combinazione:

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0	0	0
Vento	0,6	0,2	0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_G e γ_Q da utilizzare nelle calcolazioni sono definiti nelle NTC 2018 al paragrafo 2.6.1- Tab. 2.6.I.

Le prestazioni attese nei confronti delle azioni sismiche dovranno essere verificate agli stati limite, sia di esercizio che ultimi individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO);
- Stato Limite di Danno (SLD).

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV);
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

Le NTC 2018 indicano che l'azione sismica sia caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X e Y ed una verticale contrassegnata da Z, considerate tra di loro indipendenti, ed in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

L'azione in superficie dovrà essere assunta come agente su tali piani. Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale saranno caratterizzate dallo stesso spettro di risposta.

L'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie, in assenza di documentazione potranno essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali.

Per la definizione delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del NTC 2018 § 3.2.3. vanno definiti i seguenti termini:

- vita nominale;
- classe d'uso;
- categoria del suolo;
- coefficiente topografico;
- latitudine e longitudine del sito oggetto di edificazione;
- fattore di struttura q.

Tali valori sono stati utilizzati da apposita procedura informatizzata che, a partire dalle coordinate del sito oggetto di intervento (sistema di coordinate UTM WGS 84 geografiche) fornisce i parametri di pericolosità sismica da considerare ai fini del calcolo strutturale.

Le verifiche delle prestazioni saranno effettuate per le azioni derivanti dalla neve e dal vento secondo quanto previsto al cap. 3 del DM 17.01.18 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019 n. 7 per un periodo di ritorno coerente alla classe della struttura ed alla sua vita utile.

7.3 DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi variabili si dovrà fare riferimento alla tabella del D.M. 14.01.2018 in funzione della destinazione d'uso.

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²]
- carichi verticali concentrati Q_k [kN]
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k ed H_k di riferimento sono riportati nella Tab. 3.1.II delle NTC 2018.

In presenza di carichi verticali concentrati Q_k essi sono stati applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento, in generale con forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm.

7.4 MODELLO DI CALCOLO

I modelli di calcolo da utilizzare saranno quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 17.01.2018 ed in particolare:

- analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici;

- analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica;
- analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi;
- verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di struttura, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si farà riferimento al D.M. 17.01.18 e alla circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, n. 7 che è stata utilizzata come norma di dettaglio.

7.5 DURABILITÀ

Per garantire la durabilità delle strutture saranno prese in considerazione opportuni stati limite di esercizio (SLE) in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui le strutture dovranno essere utilizzate limitando sia gli stati tensionali che, nel caso delle opere in calcestruzzo, l'ampiezza delle fessure. Inoltre per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, sarà posta adeguata cura nelle previsioni sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura prevedendo tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture.

La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono stati previsti in coerenza con tali obiettivi.

7.6 MISURA DELLA SICUREZZA

Il metodo di verifica della sicurezza adottato sarà quello degli Stati Limite (SL) prevedendo due insiemi di verifiche rispettivamente per gli stati limite ultimi SLU e gli stati limite di esercizio SLE.

La sicurezza sarà quindi garantita progettando i vari elementi resistenti in modo da assicurare che la loro resistenza di calcolo sia sempre maggiore della corrispondente domanda in termini di azioni di calcolo.

7.7 SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura sarà modellata con il metodo degli elementi finiti utilizzando vari elementi di libreria specializzati per schematizzare i vari elementi strutturali.

Nel modello si terranno in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

Le sollecitazioni derivanti dalle azioni sismiche saranno ottenute sia con da analisi statiche equivalenti che con da analisi dinamiche modali.

I vincoli tra i vari elementi strutturali e con il terreno saranno modellati in maniera congruente al reale comportamento strutturale.

Il modello di calcolo terrà conto dell'interazione suolo-struttura schematizzando le fondazioni superficiali (con elementi plinto, trave o piastra) su suolo elastico alla Winkler.

Per le verifiche sezionali saranno utilizzati i seguenti legami:

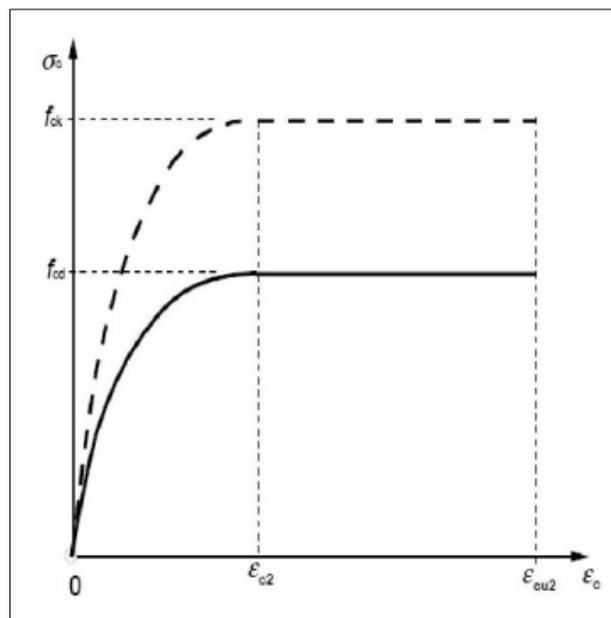


Figura 5: Legame costitutivo di progetto del calcestruzzo

Il valore ϵ_{cu2} nel caso di analisi non lineari è stato valutato in funzione dell'effettivo grado di confinamento esercitato dalle staffe sul nucleo di calcestruzzo.

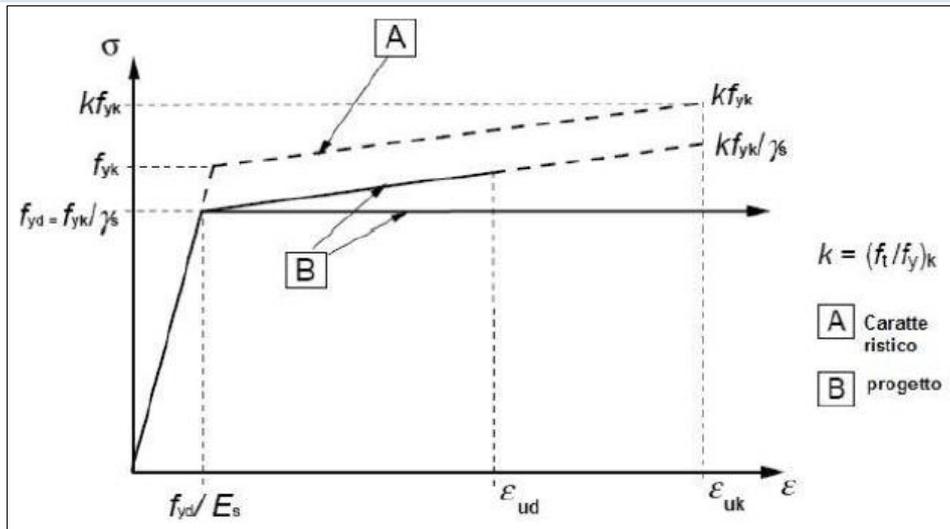


Figura 6: Legge costitutiva di progetto dell'acciaio per c.a.

Il modello di calcolo da utilizzare è rappresentativo della realtà fisica per la configurazione finale anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

7.8 COMBINAZIONE DI CALCOLO

Le combinazioni di calcolo da considerare sono quelle previste dal D.M. 17.01.2018 per i vari stati limite e per le varie azioni e tipologie costruttive.

In particolare, ai fini delle verifiche degli stati limite, sono state definite le seguenti combinazioni delle azioni (Cfr. al § 2.5.3 NTC 2018):

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) (2.5.1).
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7(2.5.2).
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili (2.5.3).
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (2.5.4).
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 form. 2.5.5).
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 form. 2.5.6).

Nelle combinazioni per SLE, saranno omessi i carichi Q_{kj} dal momento che hanno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Altre combinazioni saranno considerate in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.), ove nelle formule il simbolo "+" è da intendersi "combinato con".

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γG_i e γQ_j sono stati desunti dalle norme (Cfr. § 2.6.1, Tab. 2.6.I).

Per le combinazioni sismiche:

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni (Cfr. § 2.5.3 form. 3.2.16 delle NTC 2018). Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali (form. 3.2.17).

I valori dei coefficienti Ψ_{2j} saranno desunti dalle norme (Cfr. Tabella 2.5.I) La struttura sarà progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, con manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado sono stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado si otterrà con un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'utilizzo, ove necessario, dell'applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

8 ANALISI DEI CARICHI

Un'accurata valutazione dei carichi è un requisito imprescindibile di una corretta progettazione, in particolare per le costruzioni realizzate in zona sismica.

Essa, infatti, è fondamentale ai fini della determinazione delle forze sismiche, in quanto incide sulla valutazione delle masse e dei periodi propri della struttura dai quali dipendono i valori delle accelerazioni (ordinate degli spettri di progetto).

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 ("Norme tecniche per le Costruzioni").

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

8.1 LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Regione:	Basilicata
Provincia:	Potenza
Coordinate GPS:	Lat.: 40,908704° - Lon.: 15,994043°
Altitudine s.l.m.:	441 m

8.2 ANALISI DEI CARICHI

I carichi vengono suddivisi secondo la nuova classificazione fornita dal D.M.17/01/2018 in:

- a) permanenti G;
- b) variabili Q;
- e) sismici E.

8.2.1 Carichi permanenti G

Nel modello di calcolo i carichi sono generati in automatico tramite le caratteristiche geometriche degli elementi e la definizione del materiale acciaio. I carichi permanenti portati dipendono, invece, dalle dimensioni del pannello fotovoltaico e dal peso del meccanismo di rotazione del tracker.

8.2.2 Calcolo delle azioni del vento

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 c_p e differenziandoli per varie tipologie edilizie. Tra queste tipologie è stata scelto di assimilare il tracker ad una tettoia (C3.3.8.2) non essendo presenti in normativa riferimenti a queste particolari tipologie di strutture e data la reale somiglianza costruttiva.

In particolare i coefficienti aerodinamici sono definiti in funzione della direzione del vento (ortogonale o parallela) e delle dimensioni dell'elemento. Inoltre, la trattazione è differenziata per coperture piane, a falda singola o doppia, ecc.

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. 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 dipendono dalla pressione cinetica, dai nuovi coefficienti di forza c_F , dalla superficie della falda e dalla sua altezza, e sono applicate in punti diversi a seconda della tipologia di tettoia.

Nella Circolare viene introdotto il coefficiente di bloccaggio ϕ definito come il rapporto tra l'area esposta al vento di una eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia:

$\phi = 0$ assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia (tettoia libera)

$\phi = 1$ lo spazio al di sotto della tettoia è completamente ostruito

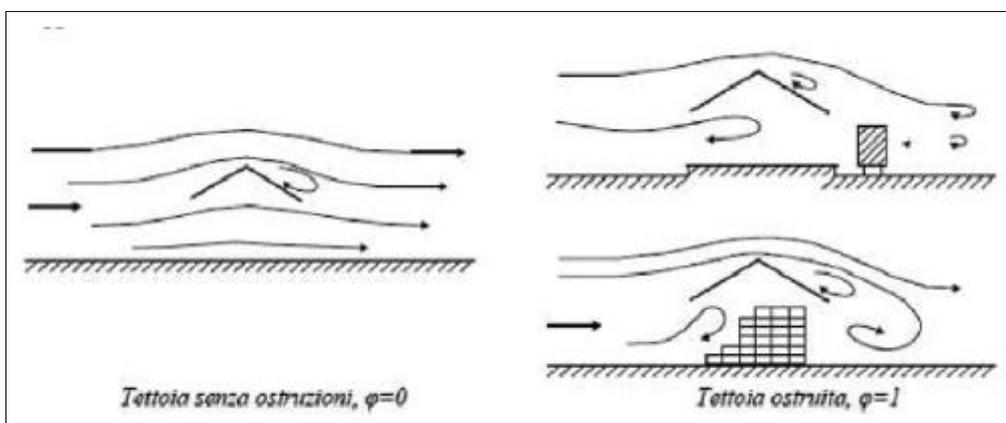
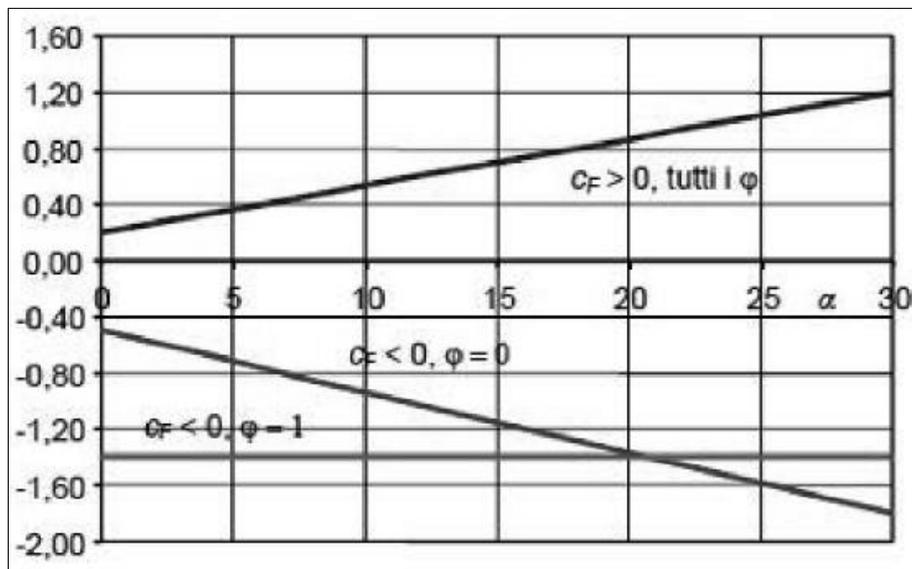


Figura 7: Differenze di flusso d'aria per tettoie con $\Phi=0$ e $\Phi=1$

È importante osservare che le azioni aerodinamiche esercitate del 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

La Tabella e la relativa Figura sottostante riportano i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a semplice falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo. I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio ϕ e dell'inclinazione della falda. Per valori intermedi di ϕ è ammessa una interpolazione lineare tra i valori relativi ai casi di $\phi = 0$ e $\phi = 1$.

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



La forza F è data dalla formula:

$$F = q_p * L_2 * c_F$$

q_p = pressione cinetica di picco

L_2 = superficie della tettoia a cui è applicata la forza

c_F = coefficiente di forza

Per il calcolo della tettoia la Circolare raccomanda che si considerino le condizioni di carico più gravose tra quelle riportate in figura:

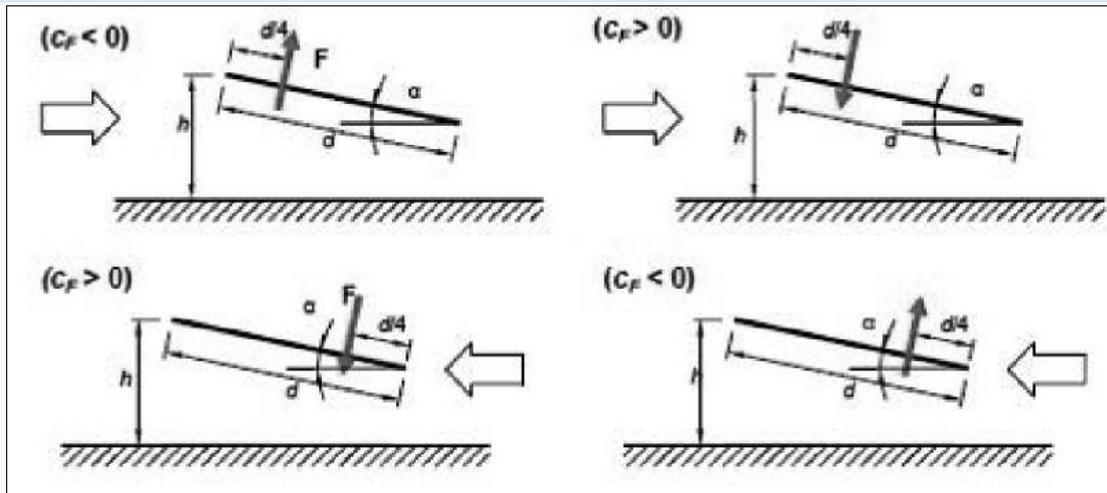


Figura 8:Tettoie a semplice falda: posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione

La pressione cinetica di picco q_p viene calcolata con la seguente formula:

$$q_p = q_b * c_e$$

q_b = pressione cinetica di riferimento

c_e = coefficiente di esposizione

La pressione cinetica di riferimento q_b è pari a:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

v_b = Velocità di riferimento del vento (in m/s)

ρ = densità dell'aria assunta convenzionalmente costante pari a 1,25 Kg/m³

La verifica è stata effettuata considerando due modelli di calcolo, ovvero un tracker nella sua configurazione orizzontale $\alpha = 0^\circ$ e uno nella configurazione di inclinazione massima $\alpha = \pm 55^\circ$.

Nelle due configurazioni del tracker in esercizio, ovvero orizzontale e a 55° , la velocità verrà considerata in modo differente in quanto l'impianto è dotato di un anemometro che posiziona i pannelli a $\alpha = 0^\circ$ una volta rilevata una velocità pari a 50 km/h = 13,89 m/s. Il calcolo verrà dunque effettuato con la massima velocità di progetto soltanto per la configurazione dei pannelli in orizzontale.

Zona vento = 3

Velocità base della zona, $v_{b,0} = 27$ m/s (Tab. 3.3.I)

Altitudine base della zona, $a_0 = 500$ m (Tab. 3.3.I)

Altitudine del sito, $a_s = 441$ m

$k_s = 0,37$ (Tab. 3.3.I)

Velocità di riferimento

$$V_b = V_{b,o} c_a = 27 \text{ m/s}$$

dove $c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$

Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni - $c_r = 1$ per $T_r = 50$ anni

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto, $v_r = v_b c_r = 27 \text{ m/s}$

Classe di rugosità del terreno: D [Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,)]

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 500 m di altitudine ($K_r = 0,19$; $z_o = 0,05 \text{ m}$; $z_{min} = 4 \text{ m}$)

Pressione cinetica di riferimento, $q_b = 45.5 \text{ daN/m}^2$

Coefficiente di esposizione, $c_e = 3.4$

Infine dunque le due velocità considerate saranno:

$$v_b = 14 \text{ m/s per } \alpha = \pm 55^\circ$$

$$v_b = 27 \text{ m/s per } \alpha = 0^\circ$$

Per la configurazione a) $\pm 55^\circ$ e $v_b = 14 \text{ m/s}$ si ha:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1.25 * (14 \text{ m/s})^2 = 12.2 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 12.2 \text{ daN/m}^2 * 3.4 = 41.5 \text{ daN/m}^2$$

Le forze concentrate F saranno pari a:

$$F_1(c_F < 0, \phi = 0) = 41.5 \text{ daN/m}^2 * 72 \text{ m}^2 * (-2,88) = -8605,4 \text{ daN}$$

con $c_F = -0,5 - 1,3 * 55/30 = -2,88$

e

$$F_2(c_F > 0, \text{tutti } \phi) = 41.5 \text{ daN/m}^2 * 72 \text{ m}^2 * (2,03) = 6065,6 \text{ daN}$$

con $c_F = +0,2 + 55/30 = 2,03$.

Dividendo le due forze F_1 ed F_2 per il numero delle aste del modello otteniamo le forze f_1 e f_2 applicate direttamente sulle aste:

$$f_1 = -8605,4 \text{ daN} / 15 = -573,7 \text{ daN}$$

$$f_2 = 6065,6 \text{ daN} / 15 = 404,4 \text{ daN}$$

Per la configurazione b) 0° e $v_b = 27 \text{ m/s}$ si ha:

$$q_b = \frac{1}{2} * 1.25 * (27 \text{ m/s})^2 = 45.5 \text{ daN/m}^2$$

$$q_p = 45.5 \text{ daN/m}^2 * 3.4 = 154.7 \text{ daN/m}^2$$

Le forze concentrate F saranno pari a:

$$F_1(c_F < 0, \phi = 0) = 154.7 \text{ daN/m}^2 * 72 \text{ m}^2 * (-0,5) = -5569.2 \text{ daN}$$

con $c_F = -0,5$

$$F_2(c_F > 0, \text{tutti i } \phi) = 154.7 \text{ daN/m}^2 * 72 \text{ m}^2 * (+0,2) = 22272.7 \text{ daN}$$

con $c_F = +0,2$

Dividendo le due forze F_1 ed F_2 per il numero delle aste del modello otteniamo le forze f_1 e f_2 applicate direttamente sulle aste:

$$f_1 = -5569.2 \text{ daN} / 15 = -371.3 \text{ daN}$$

$$f_2 = 2227.7 \text{ daN} / 15 = 148.5 \text{ daN}$$

8.2.3 Calcolo delle azioni da neve

Il carico statico viene determinato in base alla seguente espressione:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t$$

dove:

μ_i è il coefficiente di forma sulla copertura;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m^2], per un periodo di ritorno T_r di 50 anni;

C_E è il coefficiente di esposizione;

C_t è il coefficiente termico.

Carico da neve per la configurazione $\alpha = 55^\circ$ - Copertura ad una falda

Zona Neve = III

Periodo di ritorno, $T_r = 50$ anni - $C_{tr} = 1$ per $T_r = 50$ anni

C_E (coeff. di esposizione al vento) = 0,90

Valore caratteristico del carico al suolo, $q_{sk} = 60 \text{ daN/m}^2$

$\mu_i = 0.13$

$C_t = 1$

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t = 0.13 * 60 \text{ daN/m}^2 * 0.9 * 1 = 7.02 \text{ daN/m}^2$$

Carico da neve per la configurazione $\alpha = 0^\circ$ - Copertura ad una falda

Zona Neve = III

Periodo di ritorno, $Tr = 50$ anni - $C_{tr} = 1$ per $Tr = 50$ anni

C_E (coeff. di esposizione al vento) = 0,90

Valore caratteristico del carico al suolo, $q_{sk} = 60$ daN/m²

$\mu_i = 0.8$

$C_t = 1$

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t = 0.8 * 60 \text{ daN/m}^2 * 0.9 * 1 = 43.2 \text{ daN/m}^2$$

9 CONCLUSIONI

Rinviando alla progettazione esecutiva la verifica strutturale dei tracker secondo i dettami delle NTC2018 e vista la natura dell'opera, le azioni significative per il dimensionamento delle strutture di sostegno degli inseguitori solari sono rappresentate dalla distribuzione dei carichi derivanti dalle azioni del vento e dalla neve. Altre azioni minori e certamente non dimensionanti, sono rappresentate dal peso proprio delle strutture 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 e neve, visto soprattutto la trascurabile massa dei moduli che ricopre un ruolo determinante nelle verifiche statiche e dinamiche da sisma.

Per ciò che riguarda le restanti componenti minori, quali container e cabine, si rimandano alla fase di progettazione definitiva le verifiche della sicurezza strutturale delle relative fondazioni su piastra in c.a. e le verifiche geotecniche dei pali infissi dei tracker.