



REGIONE  
PUGLIA



PROVINCIA DI  
LECCE



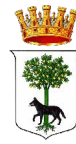
COMUNE DI  
ARNESANO



COMUNE DI  
CARMIANO



COMUNE DI  
COPERTINO



COMUNE DI  
LECCE



COMUNE DI  
LEVERANO



COMUNE DI  
MONTERONI  
DI LECCE



COMUNE DI  
NOVOLI

Progetto di un impianto agrivoltaico avanzato per la produzione di energia rinnovabile solare, da ubicarsi in agro dei comuni di Arnesano (LE), Carmiano (LE), Copertino (LE) e Novoli (LE) unitamente alle relative opere di connessione alla RTN ricadenti anche nei comuni di Lecce (LE), Leverano (LE) e Monteroni di Lecce (LE)

Potenza nominale lato c.c. 50.963,64 kWp - Potenza nominale lato c.a. 44.480 kVA

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 e ss.mm.ii.

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

(ai sensi dell'art. 41 del D.Lgs. 36/2023)

Codice AU: I7SPTR4

### IMPIANTO AGRIFV

### RELAZIONE SULLE STRUTTURE EX ART. 26, COMMA 1, LETT. c DPR 207/2010

DENOMINAZIONE ELABORATO

I7SPTR4\_CalcoliPrelStrutture\_01a

FORMATO

A4

SCALA

n.a.

#### PROGETTAZIONE:

**PROSVETA** s.r.l.

SOCIETÀ DI INGEGNERIA  
Viale Svezia, 7  
73100 - Lecce (LE) Z.I.  
P.IVA 04250160753  
Direttore Tecnico  
Ing. Francesco ROLLO



#### COMMITTENTE:

**SY04 S.r.l.**

Via Duca degli Abruzzi, 58

73100 - Lecce (LE)

P.IVA 05239340754

Legale Rappresentante

Franco RICCIATO

REV. N.	DATA	MOTIVO
00	agosto 2024	Prima emissione

## SOMMARIO

1	OGGETTO.....	2
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....	2
3	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'INTERVENTO.....	3
4	INFORMAZIONI GEOTECNICHE .....	7
5	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	9
6	PROGETTO PRELIMINARE .....	11
6.1	Dati di input.....	11
6.2	Analisi dei carichi.....	13
6.2.1	Azione sismica .....	13
6.2.2	Calcolo delle azioni della neve e del vento .....	17
6.2.3	Peso proprio dei moduli fotovoltaici .....	20
6.3	Fondazioni.....	21
6.4	Modellazione .....	22
6.5	Carichi agenti sulla testa della colonna .....	26
6.6	Combinazioni di carico .....	27
6.7	Verifiche strutturali e accettabilità dei risultati .....	29
6.8	Conclusioni.....	29

## 1 OGGETTO

La presente relazione è redatta allo scopo di descrivere il progetto preliminare e la verifica delle opere strutturali di fondazione e in elevazione in c.a. necessarie alla realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile (solare), denominato “**05\_12\_13\_Arnesano**”, di potenza nominale lato c.c. pari a **50.963,64 kWp** e di potenza nominale lato c.a. pari a **44.480 kVA** (corrispondente alla potenza massima immessa in rete), unitamente alle opere necessarie alla connessione degli impianti alla Rete di Trasmissione Nazionale.

Nello specifico, in questa relazione, vengono verificate le strutture di sostegno (tracker) dei moduli fotovoltaici e le relative fondazioni costituite da pali direttamente infissi nel terreno.

Si specifica inizialmente che i carichi relativi al peso delle strutture di supporto dei pannelli fotovoltaici sono calcolati basandosi sull'esperienza di casi simili già realizzati. Durante la fase esecutiva, le analisi dovranno considerare le attrezzature effettivamente installate, inclusi il modello degli inseguitori solari e le relative azioni passive (peso) e attive (movimento).

## 2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Il progetto “05\_12\_13\_Arnesano” nella sua totalità è costituito da:

- **un impianto agrivoltaico avanzato** (di seguito denominato **AgriFV\_05**) di potenza nominale lato c.c. pari a 17.359,68 kWp di potenza nominale lato c.a. pari a 14.830 kVA, ricadente nel territorio comunale di Carmiano (LE) e di Novoli (LE) – STMG 334784318;
- **un impianto agrivoltaico avanzato** (di seguito denominato **AgriFV\_12**) di potenza nominale lato c.c. pari a 21.679,32 kWp di potenza nominale lato c.a. pari a 19.750 kVA, ricadente nel territorio comunale di Arnesano (LE) e di Copertino (LE) – STMG 334648285;
- **un impianto agrivoltaico avanzato** (di seguito denominato **AgriFV\_13**) di potenza nominale lato c.c. pari a 11.924,64 kWp di potenza nominale lato c.a. pari a 9.900 kVA, ricadente nel territorio comunale di Carmiano (LE) – STMG 334784741;
- **due linee MT interrate a 20 kV** che convogliano l'energia prodotta dall'impianto AgriFV\_05 alla **CP Arnesano 150/20 kV** ubicata in Arnesano (LE);
- **due linee MT interrate a 20 kV** che convogliano l'energia prodotta dall'impianto AgriFV\_12 alla **CP Arnesano 150/20 kV** ubicata in Arnesano (LE);
- **una linea MT interrata a 20 kV** che convoglia l'energia prodotta dall'impianto AgriFV\_13 alla **CP Arnesano 150/20 kV** ubicata in Arnesano (LE);
- **la linea MT interrata a 20 kV** per realizzare la richiusura tra la Cabina di Consegna dell'impianto AgriFV\_13 e la linea MT CARMIANO DW30-36392 nella tratta dei nodi DW30-3-199528 e DW30-3-260425;

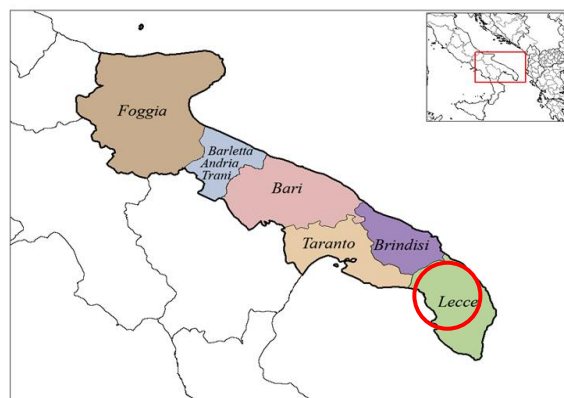
- **due Cabine di Sezionamento (CdS)** ubicate lungo le linee elettriche MT interrato provenienti rispettivamente dall'impianto AgriFV\_12 e AgriFV\_13;
- una nuova Cabina Primaria **CP Arnesano** 150/20 kV, ubicata in Arnesano (LE), che verrà collegata in doppia antenna su una nuova Stazione Elettrica (**SE RTN 150 kV**);
- una nuova **SE RTN 150 kV** da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV "CP Copertino – CP Lecce", previo potenziamento / rifacimento della direttrice RTN a 150 kV "CP Lecce – CP Copertino – CP Galatone" nel tratto compreso tra la nuova SE RTN 150 kV e la SE RTN di Galatina;
- **la linea AT interrata a 150 kV** costituita da due terne di cavi per realizzare i raccordi di inserimento in entra-esce tra la SE RTN 150 kV e la linea RTN 150 kV "CP Copertino – CP Lecce" esistente.

### 3 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'INTERVENTO

Il progetto previsto pertanto ricade interamente nella Regione Puglia, coinvolgendo la provincia di Lecce, rispettivamente nei loro territori comunali di Novoli (LE), Carmiano (LE), Arnesano (LE), Copertino (LE), Lecce (LE), Monteroni di Lecce (LE), Leverano (LE).

I lotti di terreno interessati dall'installazione degli impianti di produzione hanno un'estensione complessiva contrattualizzata nella disponibilità del proponente pari a circa 715.206 mq, di cui:

- 35.734 mq ricadenti nel comune di Carmiano e 215.393,29 mq ricadenti nel comune di Novoli che assieme costituiscono la sezione di agrivoltaico identificabile come "AgriFV\_05";
- 88.439,05 mq ricadenti nel comune di Copertino e 208.770,67 mq ricadenti nel comune di Arnesano che assieme costituiscono la sezione di agrivoltaico identificabile come "AgriFV\_12";
- 166.869,67 mq ricadenti nel comune di Carmiano e identificabili come "AgriFV\_13".



COORDINATE GEOGRAFICHE (Centro delle aree)				
Campo	Comune	Latitudine	Longitudine	Altitudine
AgriFV_05 Sottocampo A	Novoli	40°21'31.59"N	18° 3'59.13"E	28 m s.l.m.
AgriFV_05 Sottocampo B	Novoli/Carmiano	40°21'19.58"N	40°21'19.58"N	31 m s.l.m.
AgriFV_05 Sottocampo C	Novoli	40°21'19.21"N	18° 4'23.79"E	31 m s.l.m.
Cabina di Consegna 1	Carmiano	40°21'17.26"N	18° 4'12.85"E	32 m s.l.m.
Cabina di Consegna 2	Novoli	40°21'21.15"N	18° 4'6.58"E	32 m s.l.m.
Cabina di Consegna 3	Novoli	40°21'13.47"N	18° 4'15.49"E	32 m s.l.m.
AgriFV_12 Sottocampo A	Copertino	40°18'30.06"N	18° 1'40.74"E	39 m s.l.m.
AgriFV_12 Sottocampo B	Copertino	40°18'36.99"N	18° 1'46.28"E	38 m s.l.m.
AgriFV_12 Sottocampo C	Copertino	40°18'40.33"N	18° 1'36.15"E	37 m s.l.m.
AgriFV_12 Sottocampo D	Arnesano	40°19'12.44"N	18° 3'25.83"E	40 m s.l.m.
AgriFV_12 Sottocampo E	Arnesano	40°19'12.02"N	18° 3'11.22"E	36 m s.l.m.
Cabina di Consegna 1	Arnesano	40°19'15.30"N	18° 3'27.44"E	40 m s.l.m.
Cabina di Consegna 2	Arnesano	40°19'14.98"N	18° 3'27.54"E	40 m s.l.m.
Cabina di Consegna 3	Arnesano	40°19'9.78"N	18° 3'21.65"E	39 m s.l.m.
Cabina di Consegna 4	Arnesano	40°19'10.37"N	18° 3'21.53"E	39 m s.l.m.
AgriFV_13 Sottocampo A	Carmiano	40°19'25.69"N	18° 0'45.63"E	41 m s.l.m.
AgriFV_13 Sottocampo B	Carmiano	40°19'30.72"N	18° 1'15.45"E	41 m s.l.m.
Cabina di Consegna 1	Carmiano	40°19'32.21"N	18° 0'49.32"E	40 m s.l.m.
Cabina di Consegna 2	Carmiano	40°19'32.30"N	18° 0'49.57"E	40 m s.l.m.

### Coordinate geografiche del centro degli impianti di produzione

Unitamente all'impianto di produzione, il progetto prevede la realizzazione delle **opere di rete per la connessione** così come indicato nei tre preventivi di connessione distinti rilasciati da e-distribuzione:

- **AgriFV\_05** con Codice di rintracciabilità **334784318** rilasciato in data 29/03/2023 da e-distribuzione;
- **AgriFV\_12** con Codice di rintracciabilità **334648285** rilasciato in data 29/03/2023 da e-distribuzione;
- **AgriFV\_13** con Codice di rintracciabilità **334784741** rilasciato in data 29/03/2023 da e-distribuzione.

Pur essendo tre preventivi differenti, questi prevedono delle opere di connessione comuni alle tre sezioni di impianto; nello specifico, le nuove cabine di consegna saranno collegate in antenna da cabina primaria AT/MT CP ARNESANO. Soluzione su Futura CP ARNESANO 150/20 kV – DW00-1-389798. Quest'ultima verrà collegata in doppia antenna su una nuova Stazione Elettrica (SE) della

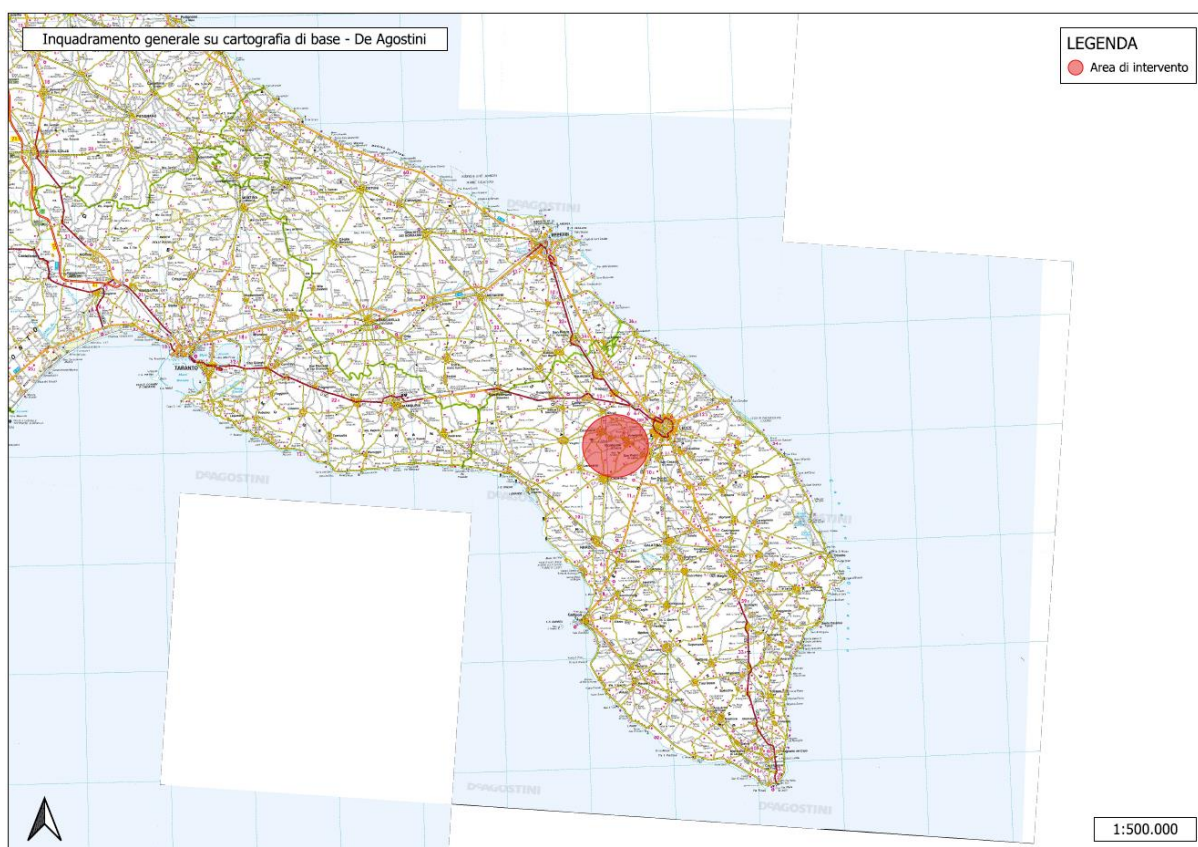


RTN a 150 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN a 150 kV “CP Copertino – CP Lecce”, previo potenziamento/rifacimento della direttrice RTN a 150 kV “CP Lecce – CP Copertino - CP Galatone – Galatina” nel tratto compreso tra la nuova SE RTN 150 kV suddetta e la SE RTN di Galatina.

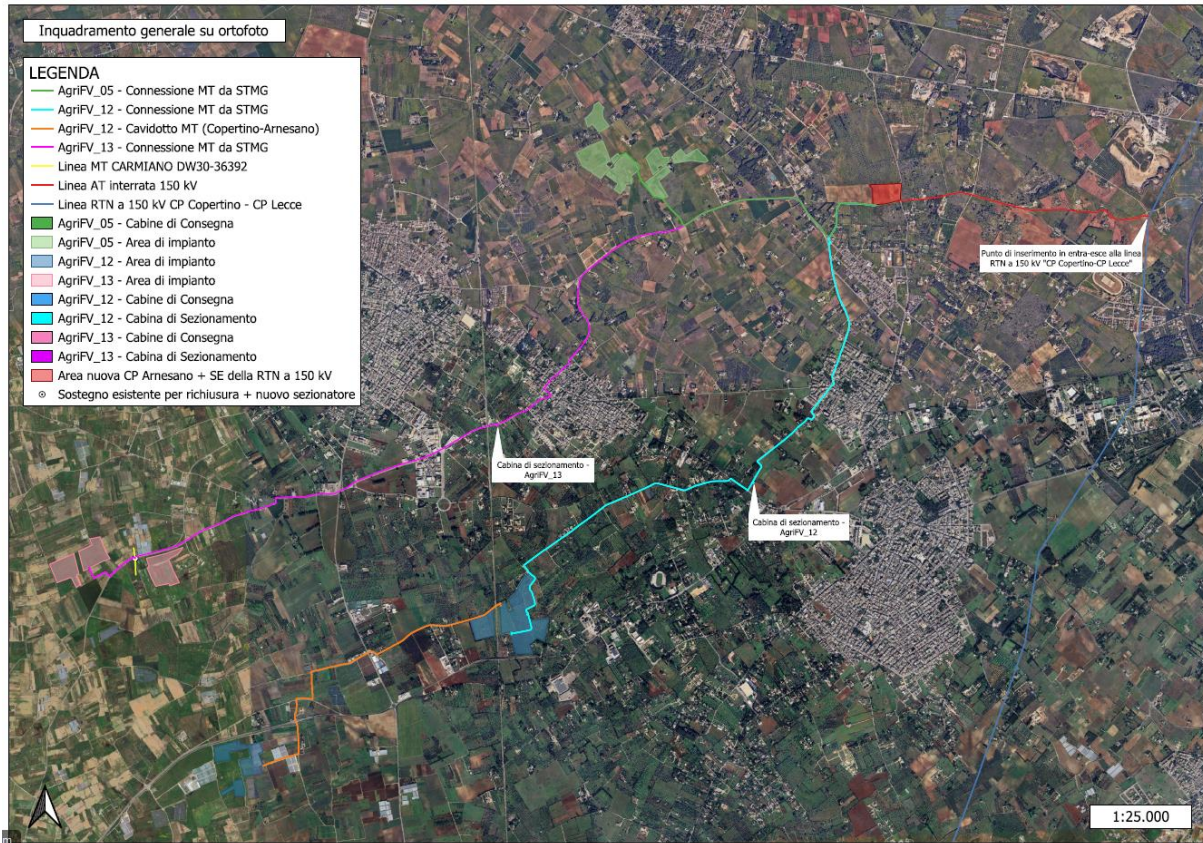
Pertanto, l’impianto di connessione, anche esso oggetto della presente autorizzazione, coinvolge nella sua totalità, la provincia di Lecce, rispettivamente nei territori comunali di Lecce (LE) Leverano (LE), Novoli (LE), Carmiano (LE), Arnesano (LE), Copertino (LE), Monteroni di Lecce (LE).

Si riporta di seguito, sotto forma tabellare la posizione geografica delle coordinate delle aree destinate allo smistamento, alla conversione/trasformazione e alla consegna dell’energia prodotta dagli impianti di produzione alla RTN.

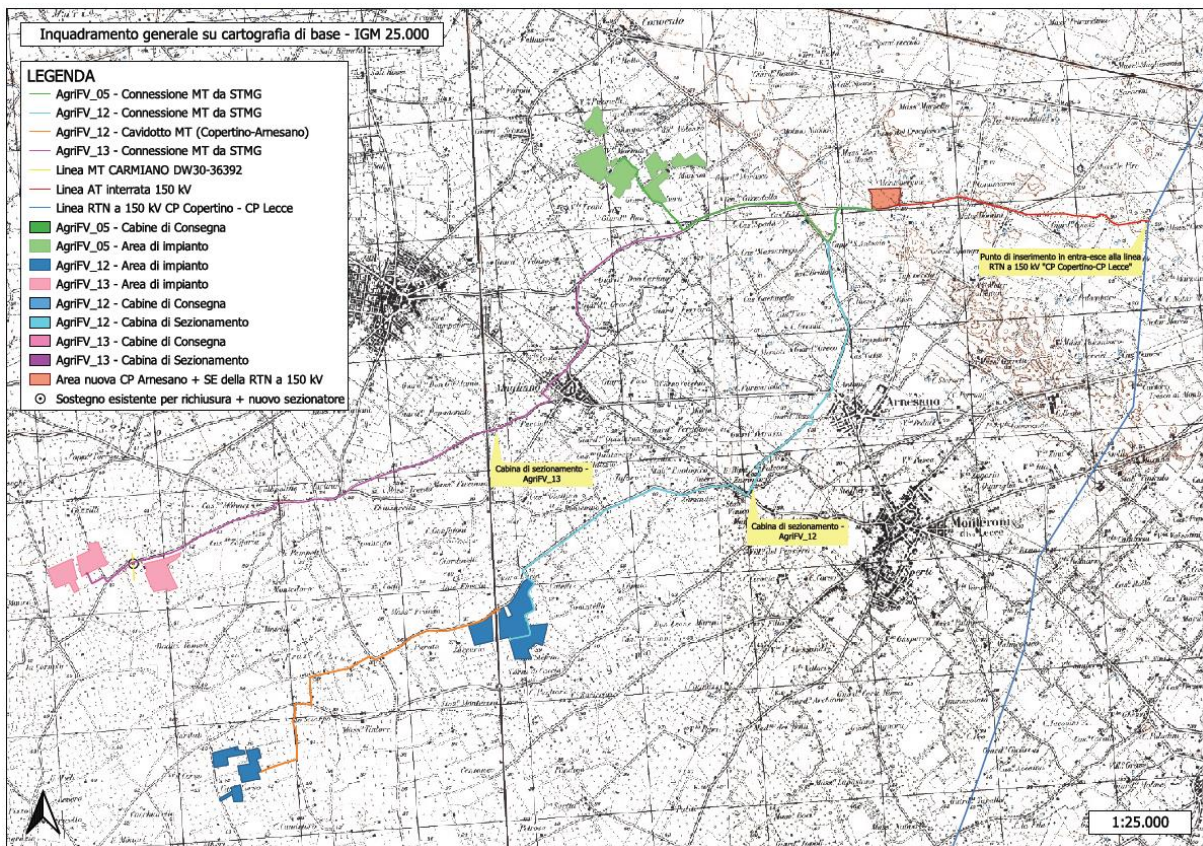
COORDINATE GEOGRAFICHE (Centro delle aree)				
Campo	Comune	Latitudine	Longitudine	Altitudine
Cabina di Sezionamento AgriFV_12	Monteroni	40°19'49.46"N	18° 4'51.12"E	33 m s.l.m.
Cabina di Sezionamento AgriFV_13	Carmiano	40°20'7.77"N	18° 3'19.22"E	37 m s.l.m.
Area nuova CP + SE	Arnesano	40°21'8.17"N	18° 5'42.63"E	27 m s.l.m.



**Inquadramento geografico su carta De Agostini**



Inquadramento delle aree di progetto su ortofoto



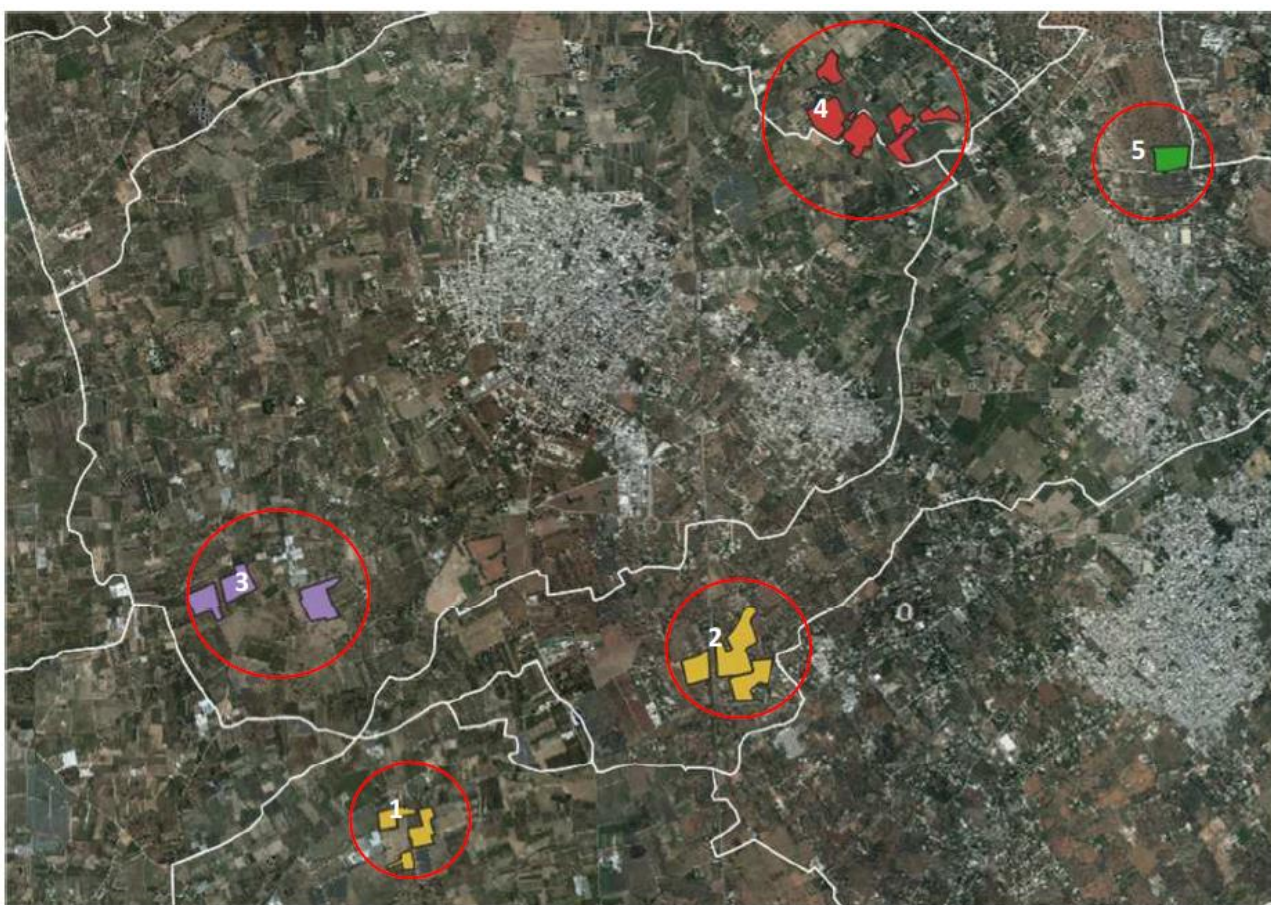
Inquadramento generale delle opere su IGM

## 4 INFORMAZIONI GEOTECNICHE

Negli elaborati di progetto, a cui si rimanda, costituiti dalla relazione geologica, redatta dal geologo Dott. Gianluca Selleri, e geotecnica e sismica, parte integrante della presente relazione sulle strutture e di calcolo, sono riportate tutte le informazioni inerenti alla caratterizzazione geotecnica ed alla capacità portante dei terreni di fondazione.

Si riporta di seguito lo schema riassuntivo dei terreni di fondazione nell'area in oggetto.

I vari siti di intervento ricadono in un settore della penisola salentina posto a ridosso dell'abitato di Lecce dove il substrato geologico è caratterizzato da una certa varietà litologica; qui, infatti, la serie geologica affiorante si compone di unità di litologia carbonatica e di unità di litologia terrigena ed essa copre un intervallo di tempo geologico relativamente ampio.



**Individuazione delle macroaree di intervento (in bianco sono cartografati i limiti comunali)**

Questa serie è rappresentata dalle seguenti unità (elencate dalla più antica alla più recente):

- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore) in verde scuro;
- Unità oligo-mioceniche (Formazione di Galatone, Formazione di Lecce e Pietra leccese) non affioranti nell'area della carta geologica;

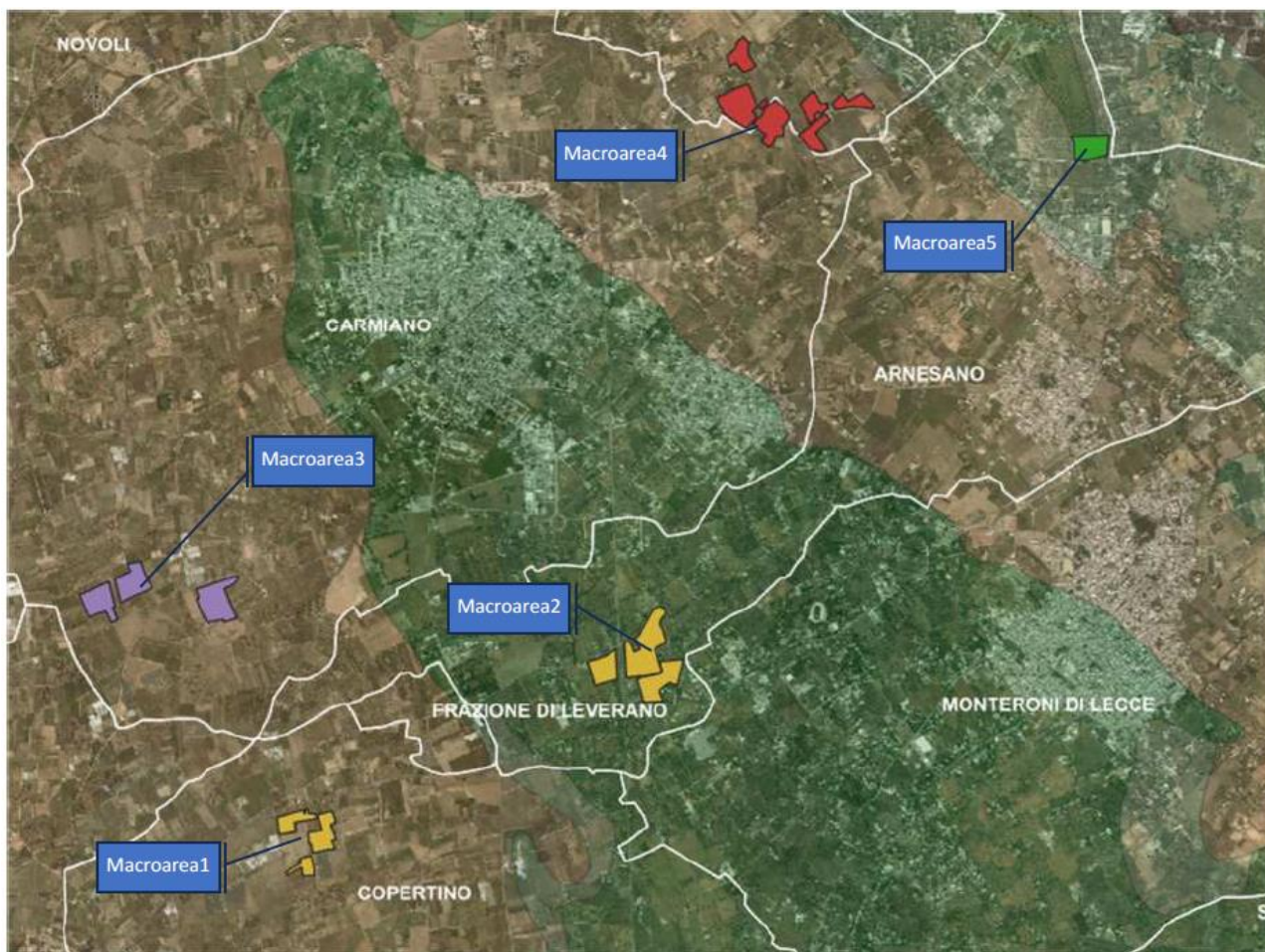
Calcarenite di Gravina (Pleistocene inferiore) in verde chiaro;

Depositi marini terrazzati (Pleistocene medio e superiore) in marrone chiaro.



Dalla figura che segue emerge che i siti delle macroaree 2 e 5 ricadono su affioramenti di rocce calcaree ascrivibili al Calcarea di Altamura ed alla Calcarenite di Gravina (il substrato carbonatico nel perimetro della macroarea 5 è ricoperto da 1 m a 2.5-3 m di sabbie marroncine mentre nel perimetro della macroarea 2 esso è ricoperto da depositi eluvio-colluviali potenti fino a 1 m); i siti delle macroaree 1, 3 e 4 ricadono invece in corrispondenza di un esteso affioramento dei Depositi marini terrazzati.

Le unità oligo-mioceniche si rinvengono localmente nel sottosuolo.



**Carta Geologica**

## 5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta conformemente a quanto previsto dalla normativa vigente in materia di norme sulle costruzioni, ed in dettaglio:

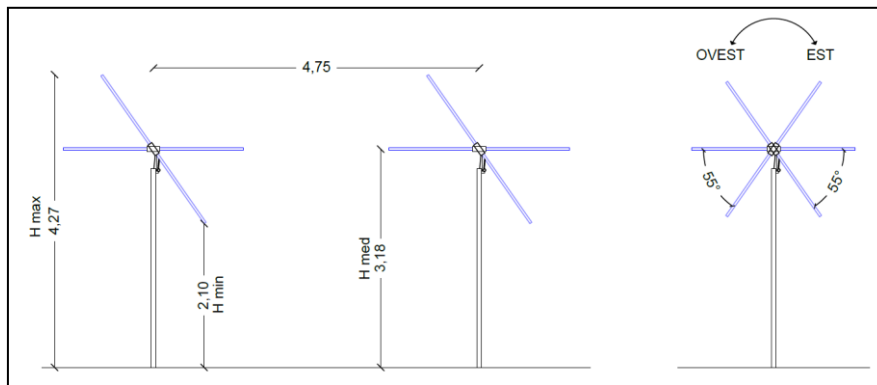
1. D.Min. Infrastrutture Min. Interni e Prot. Civile 17 Gennaio 2018 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni".
2. Circolare 21/01/19, n. 7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
3. D.Min. Infrastrutture e trasporti 14 Settembre 2005 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni".
4. D.M. LL.PP. 9 Gennaio 1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche".
5. D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche relative ai <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>>".
6. D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
7. Circolare 4/07/96, n.156AA.GG./STC. istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai <<Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi>>" di cui al D.M. 16/01/96.
8. Circolare 10/04/97, n.65AA.GG. istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/96.
9. D.M. LL.PP. 20 Novembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".
10. Circolare 4 Gennaio 1989 n. 30787 "Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento".
11. D.M. LL.PP. 11 Marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
12. D.M. LL.PP. 3 Dicembre 1987 "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate".
13. UNI 9502 - Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso - edizione maggio 2001
14. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modificazioni e integrazioni.
15. UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale.
16. UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici.
17. UNI EN 1991-2:2005 01/03/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti.
18. UNI EN 1991-1-3:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve.

19. UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
20. UNI EN 1991-1-5:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche.
21. UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
22. UNI EN 1992-1-2:2005 01/04/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.
23. UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
24. UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
25. UNI EN 1994-1-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
26. UNI EN 1994-2:2006 12/01/2006 Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.
27. UNI EN 1995-1-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici.
28. UNI EN 1995-2:2005 01/01/2005 Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 2: Ponti.
29. UNI EN 1996-1-1:2006 26/01/2006 Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata.
30. UNI EN 1996-3:2006 09/03/2006 Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura - Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata.
31. UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
32. UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
33. UNI EN 1998-3:2005 01/08/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici.
34. UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
35. CNR DT-200/2013 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati
36. CNR DT-215/2018 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica

## 6 PROGETTO PRELIMINARE

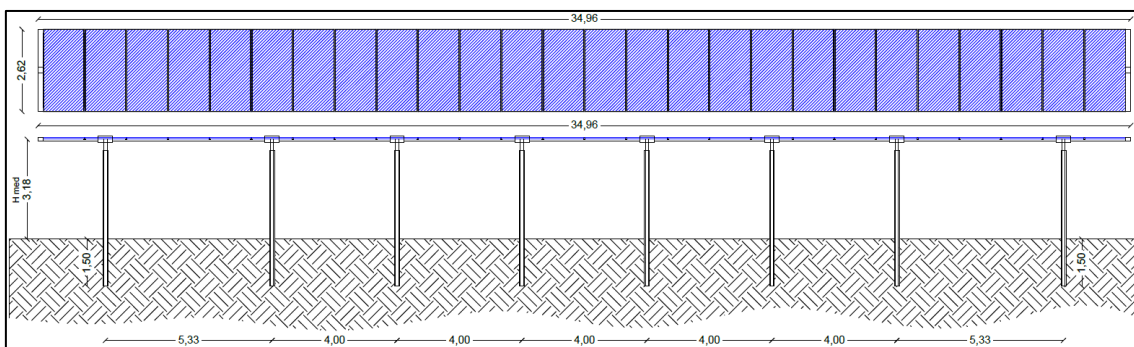
### 6.1 Dati di input

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici saranno costituite da inseguitori (tracker) monoassiali, ovvero strutture di sostegno mobili che nell'arco della giornata "inseguono" il movimento del sole orientando i moduli fotovoltaici su di essi installati da est a ovest, con range di rotazione completo del tracker da est a ovest è pari a  $110^\circ$  ( $-55^\circ/+55^\circ$ ), come indicato in figura.

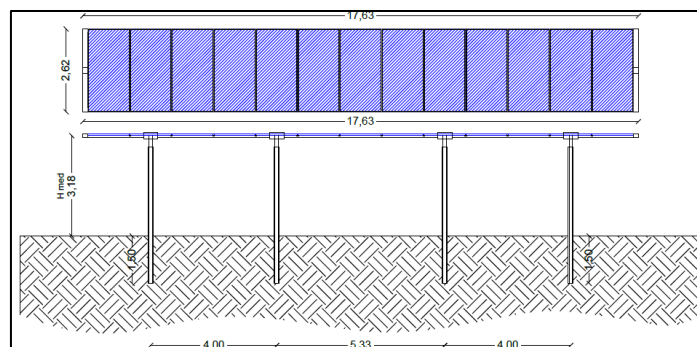


**Sezione tipo inseguitore monoassiale (Tracker)**

I moduli fotovoltaici, di dimensioni pari a 2.620 mm x 1.303 mm, spessore di 35 mm e peso pari a 44,5 kg, saranno installati sull'inseguitore su una sola fila con configurazione portrait (verticale rispetto l'asse di rotazione del tracker). Il numero dei moduli posizionati su un inseguitore è variabile. Nell'impianto in progetto avremo inseguitori da 26 e da 13 moduli.



**Dettaglio tracker da 26 moduli**



**Dettaglio tracker da 13 moduli**

Pertanto, dal punto di vista dimensionale, saranno realizzate due configurazioni:

- Tracker da 26 moduli
  - o Lunghezza complessiva 34,96 m
  - o N. campi / pali di sostegno 7 / 8
  - o Interasse pali di sostegno 4 m / 5,33 m
- Tracker da 13 moduli
  - o Lunghezza complessiva 17,63 m
  - o N. campi / pali di sostegno 3 / 4
  - o Interasse pali di sostegno 4 m / 5,33 m

Da un punto di vista strutturale il tracker è realizzato in acciaio da costruzione in conformità agli Eurocodici, con maggior parte dei componenti zincati a caldo. I tracker possono resistere fino a velocità del vento di 55 km/h, ed avviano la procedura di sicurezza (ruotando fin all'angolo di sicurezza) quando le raffiche di vento hanno velocità superiore a 50 km/h.

Per quanto attiene le fondazioni i tracker saranno fissati al terreno tramite pali infissi direttamente "battuti" nel terreno. La profondità standard di infissione è di 1,5 m, tuttavia in fase esecutiva in base alle caratteristiche del terreno ed ai calcoli strutturali tale valore potrebbe subire modifiche che tuttavia si prevede siano non eccessive. La scelta di questo tipo di inseguitore evita l'utilizzo di cemento e minimizza i movimenti terra per la loro installazione.



**Esempio di palo del tracker infisso nel terreno**

## 6.2 Analisi dei carichi

### 6.2.1 Azione sismica

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle seguenti espressioni:

Dove per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1; mentre per le categorie di sottosuolo B, C, D, E i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  vengono calcolati mediante le espressioni riportate nella seguente Tabella

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	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente Tabella

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

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico,  $S_{ve}$ , è definito dalle espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

I valori di  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono riportati nella seguente Tabella

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

L'azione sismica viene definita in relazione a un periodo di riferimento  $V_r$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento  $V_r$  e la probabilità di superamento  $P_{ver}$  associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno  $T_r$  e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_o$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Parametri della struttura						
Classe d'uso	Vita $V_n$	Coeff. Uso	Periodo $V_r$	Tipo di suolo	Categoria topografica	Quota relativa
	[anni]		[anni]			[%]
II	50.0	1.0	50.0	C	T1	-

La risposta sismica locale (RSL) è definita come da NTC 2018 Tab. 3.2.II e Tab. 3.2.III

Si riportano di seguito, per completezza, le vedute delle opzioni così come impostate nel programma:

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Nota: per il calcolo dei parametri sismici  
1) inserire le coordinate geografiche    2) introdurre  $V_n$  e  $C_u$   
Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N [con N = 1,2,3,4,5]

Vertici della maglia elementare INGV [riferimento ED50]

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza [km]
35257	18.078	40.291	5.251
35258	18.144	40.288	7.028
35036	18.147	40.338	4.687
35035	18.082	40.341	0.943

Coordinate geografiche [riferimento WGS84]

Località:  Trova

Longitudine:     Latitudine:  Applica

Applica la Risposta Sismica Locale  RSL

Parametri per le forme spettrali

	$P_{ver}$	$T_r$	$a_g$ [g]	$F_o$	$T^*c$
SLO	81	30.11	0.0136	2.404	0.151
SLD	63	50.29	0.0185	2.383	0.210
SLV	10	474.56	0.0491	2.382	0.518
SLC	5	974.79	0.0623	2.486	0.560

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Vita $V_n$ [anni]	Coefficiente uso $C_u$	Periodo $V_r$ [anni]	Livello di sicurezza
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="100"/>

Rimuovi limiti  $V_r$  e  $T_r$  (di norma NO) Reset    Calcola

Annulla
OK

<p><b>Classe d'uso</b></p> <p><input type="radio"/> I edifici di minor importanza per la sicurezza pubblica [edifici agricoli...]</p> <p><input checked="" type="radio"/> II edifici ordinari</p> <p><input type="radio"/> III edifici importanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (scuole, teatri...)</p> <p><input type="radio"/> IV edifici la cui funzionalità ha importanza fondamentale per la protezione civile (ospedali, municipi...)</p>	<p><b>Pericolosità e zonazione</b></p> <p>pericolosità sismica</p> <p>agS per SLV: <input type="text" value="0.088"/></p> <p>Modalità di progettazione semplificata per agS &lt; 0.075 <input type="checkbox"/></p> <p><b>Strutture esistenti</b></p> <p><input checked="" type="radio"/> LC1: conoscenza limitata</p> <p><input type="radio"/> LC2: conoscenza adeguata</p> <p><input type="radio"/> LC3: conoscenza accurata</p> <p>Fattore di confidenza FC: <input type="text" value="1.35"/></p>
--	---

<p><b>Categoria di suolo di fondazione</b></p> <p><input type="radio"/> A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi ...</p> <p><input type="radio"/> B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti ...</p> <p><input checked="" type="radio"/> C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti ...</p> <p><input type="radio"/> D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti ...</p> <p><input type="radio"/> E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D ...</p>	<p><b>Categoria topografica</b></p> <p><input checked="" type="radio"/> T1</p> <p><input type="radio"/> T2 in sommità al pendio</p> <p><input type="radio"/> T3 in cresta al rilievo con moderata</p> <p><input type="radio"/> T4 in cresta al rilievo</p> <p><input type="text" value="100"/> quota relativa (%)</p> <p><b>Spettri di progetto</b></p> <p><input type="checkbox"/> Usa spettri esterni <input type="button" value="Sfoggia..."/></p>
---	---

<p><b>Parametri e fattori spettrali</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>S.L.</th> <th>ag</th> <th>S</th> <th>Fo</th> <th>Fv</th> <th>TB</th> <th>TC</th> <th>TD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLO</td> <td><input type="text" value="0.014"/></td> <td><input type="text" value="1.500"/></td> <td><input type="text" value="2.404"/></td> <td><input type="text" value="0.378"/></td> <td><input type="text" value="0.099"/></td> <td><input type="text" value="0.296"/></td> <td><input type="text" value="1.654"/></td> </tr> <tr> <td>SLD</td> <td><input type="text" value="0.018"/></td> <td><input type="text" value="1.500"/></td> <td><input type="text" value="2.383"/></td> <td><input type="text" value="0.438"/></td> <td><input type="text" value="0.123"/></td> <td><input type="text" value="0.369"/></td> <td><input type="text" value="1.674"/></td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td><input type="text" value="0.049"/></td> <td><input type="text" value="1.500"/></td> <td><input type="text" value="2.382"/></td> <td><input type="text" value="0.713"/></td> <td><input type="text" value="0.225"/></td> <td><input type="text" value="0.676"/></td> <td><input type="text" value="1.796"/></td> </tr> <tr> <td>SLC</td> <td><input type="text" value="0.062"/></td> <td><input type="text" value="1.500"/></td> <td><input type="text" value="2.486"/></td> <td><input type="text" value="0.838"/></td> <td><input type="text" value="0.237"/></td> <td><input type="text" value="0.712"/></td> <td><input type="text" value="1.849"/></td> </tr> <tr> <td>Verticale per tutti:</td> <td colspan="4"><input type="text" value="1.000"/></td> <td><input type="text" value="0.050"/></td> <td><input type="text" value="0.150"/></td> <td><input type="text" value="1.000"/></td> </tr> <tr> <td>eta SLO</td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td>q SLD x</td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td>q SLD y</td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td>q SLD z</td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td>q SLU x</td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td>q SLU y</td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td>q SLU z</td> <td><input type="text" value="1.5"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td></td> <td><input type="button" value="Auto..."/></td> </tr> <tr> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td></td> <td><input type="text" value="1.0"/></td> <td></td> <td>&lt;= Esistenti v. fragili</td> </tr> </tbody> </table>								S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD	SLO	<input type="text" value="0.014"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.404"/>	<input type="text" value="0.378"/>	<input type="text" value="0.099"/>	<input type="text" value="0.296"/>	<input type="text" value="1.654"/>	SLD	<input type="text" value="0.018"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.383"/>	<input type="text" value="0.438"/>	<input type="text" value="0.123"/>	<input type="text" value="0.369"/>	<input type="text" value="1.674"/>	SLV	<input type="text" value="0.049"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.382"/>	<input type="text" value="0.713"/>	<input type="text" value="0.225"/>	<input type="text" value="0.676"/>	<input type="text" value="1.796"/>	SLC	<input type="text" value="0.062"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.486"/>	<input type="text" value="0.838"/>	<input type="text" value="0.237"/>	<input type="text" value="0.712"/>	<input type="text" value="1.849"/>	Verticale per tutti:	<input type="text" value="1.000"/>				<input type="text" value="0.050"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="1.000"/>	eta SLO	<input type="text" value="1.0"/>	q SLD x	<input type="text" value="1.0"/>	q SLD y	<input type="text" value="1.0"/>	q SLD z	<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>	q SLU x	<input type="text" value="1.0"/>	q SLU y	<input type="text" value="1.0"/>	q SLU z	<input type="text" value="1.5"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="button" value="Auto..."/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<= Esistenti v. fragili	<p><b>Duttilità</b></p> <p><input type="radio"/> ND - non dissipativa</p> <p><input checked="" type="radio"/> B - media</p> <p><input type="radio"/> A - alta</p> <p><b>Regolarità</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> in pianta</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> in altezza</p> <p><b>Edifici isolati</b></p> <p><input type="text" value="2.0"/> T is</p> <p><input type="text" value="10.0"/> s esi</p> <p><input type="button" value="Info..."/></p>
S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD																																																																																	
SLO	<input type="text" value="0.014"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.404"/>	<input type="text" value="0.378"/>	<input type="text" value="0.099"/>	<input type="text" value="0.296"/>	<input type="text" value="1.654"/>																																																																																	
SLD	<input type="text" value="0.018"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.383"/>	<input type="text" value="0.438"/>	<input type="text" value="0.123"/>	<input type="text" value="0.369"/>	<input type="text" value="1.674"/>																																																																																	
SLV	<input type="text" value="0.049"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.382"/>	<input type="text" value="0.713"/>	<input type="text" value="0.225"/>	<input type="text" value="0.676"/>	<input type="text" value="1.796"/>																																																																																	
SLC	<input type="text" value="0.062"/>	<input type="text" value="1.500"/>	<input type="text" value="2.486"/>	<input type="text" value="0.838"/>	<input type="text" value="0.237"/>	<input type="text" value="0.712"/>	<input type="text" value="1.849"/>																																																																																	
Verticale per tutti:	<input type="text" value="1.000"/>				<input type="text" value="0.050"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input type="text" value="1.000"/>																																																																																	
eta SLO	<input type="text" value="1.0"/>	q SLD x	<input type="text" value="1.0"/>	q SLD y	<input type="text" value="1.0"/>	q SLD z	<input type="text" value="1.0"/>																																																																																	
	<input type="text" value="1.0"/>	q SLU x	<input type="text" value="1.0"/>	q SLU y	<input type="text" value="1.0"/>	q SLU z	<input type="text" value="1.5"/>																																																																																	
	<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="button" value="Auto..."/>																																																																																	
	<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<input type="text" value="1.0"/>		<= Esistenti v. fragili																																																																																	



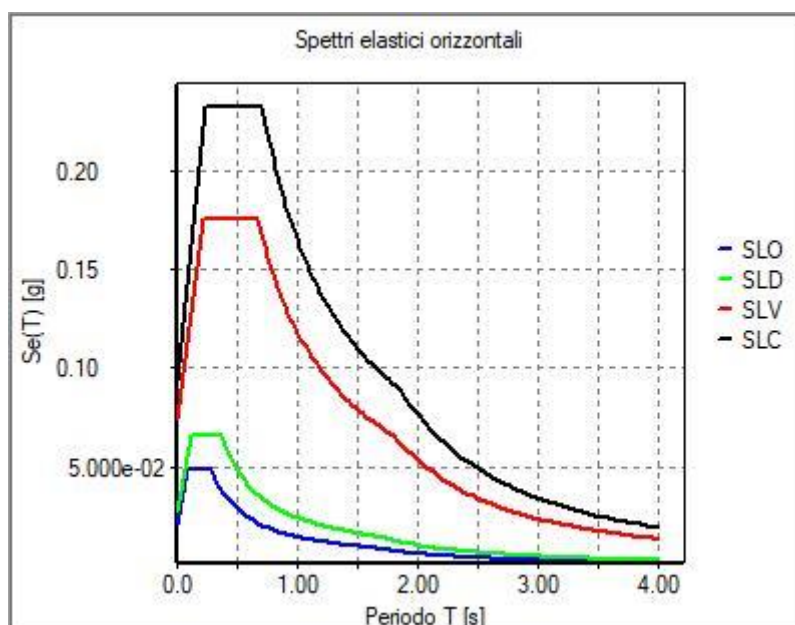
<b>Dati comuni per le analisi</b> Quota spiccato [cm] <input type="text" value="0.0"/> Contributo carichi in fondazione <input type="checkbox"/> Eccentricità aggiuntiva X: <input type="text" value="5"/> Y: <input type="text" value="5"/> Spost. relativo rapp. SLC/SLD <input type="text" value="5"/> ex. muratura		<b>Dati per analisi statica lineare e non lineare</b> Altezza edificio [cm] <input type="text" value="318.0"/> N. orizzontamenti <input type="text" value="1"/> Fatt. Lambda [0.85 - 1] <input type="text" value="1.0"/> <input type="button" value="Calcola periodi T1"/> Periodo T1 [primo modo] dir. x-x <input type="text" value="0.3"/> dir. y-y <input type="text" value="0.3"/> dir. z-z <input type="text" value="0.3"/> Sd (T1) - SLU <input type="text" value="0.175"/> <input type="text" value="0.175"/> <input type="text" value="0.012"/> Se (T1) - SLD <input type="text" value="0.066"/> <input type="text" value="0.066"/> <input type="text" value="0.004"/> Rapp T1/TrZ <input type="text" value="10.0"/> <input type="text" value="10.0"/> suggerito: Accelerazione uniforme [Fi=Fh] <input type="checkbox"/> NO Eccentricità convenzionale con momenti Mz <input type="checkbox"/> NO Usa spostamenti medi di piano per pushover <input checked="" type="checkbox"/> SI		
<b>Dati per analisi dinamica</b> N. modi <input type="text" value="9"/> N. modi rigidi <input type="text" value="0"/>				

C.D.C. sismico	<input type="text"/>	Nodo cont.	<input type="text" value="0"/> (**)
C.D.C.	<input type="text"/>		
Analisi modale di riferimento	<input type="text"/> <input type="button" value="Sfoggia..."/>	Modo rifer.	<input type="text" value="0"/> (**)
Sisma	LC 1	LC 10	
LC U 2	1.00	1.00	
LC U 3	1.00	1.00	
LC U 4	1.00	1.00	
LC U 5	1.00	1.00	
LC D 6	1.00	1.00	
LC D 7	1.00	1.00	
LC D 8	1.00	1.00	

NOTA: (\*) coefficienti per carichi variabili Q  
 cdc Qk : utilizzare psi 2  
 cdc Qsk/Qnk : utilizzare di regola 1 (psi 2 da archivio carico)

(\*\*) 0 per default in pushover

Si riportano di seguito gli SPETTRI di input sismico e le caratteristiche dinamiche proprie della struttura, pertanto in assenza di eccentricità aggiuntive:



## 6.2.2 Calcolo delle azioni della neve e del vento

### Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

### Neve

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per Tr = 50 anni);

Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
III	Zona normale	1,00	50 anni	33 m	60,00

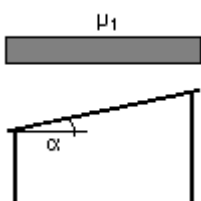
Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda  $\alpha = 0,0^\circ$

- Copertura piana  $W = 2.6 \text{ m}$ ,  $L = 35.0 \text{ m} \Rightarrow L_c = 5.0$ ,  $C_{ef} = 1.000$

$\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 48 \text{ daN/mq}$

Schema di carico:



### Vento

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.I);

$V_{b,0}$ : velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

$a_0$ : altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

$k_s$ : parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.I);

as: altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

Vb: velocità di riferimento calcolata come segue:

$$Vb = Vb,0 \text{ per } as \leq a0$$

$$Vb = Vb,0 (1 + ks ((as / a0) - 1)) \text{ per } a0 < as \leq 1500 \text{ m}$$

per  $as > 1500 \text{ m}$  vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per  $as = 1500 \text{ m}$

Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR

Vr: velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	Vb,0	a0	ks	as	TR	Vb	Cr	Vr
3	27 m/s	500 m	0,37	33 m	50 anni	27,00 m/s	1	27,00 m/s

Pressione cinetica di riferimento,  $qr = \rho Vr^2 / 2 = 46 \text{ daN/mq}$

dove:  $\rho$  è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)

Esposizione: Cat. II - Entroterra tra 10 e 40 km dalla costa

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0,19	0,05 m	4 m

Classe di rugosità del terreno: D (NTC - Tab. 3.3.III)

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,..)

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

Cp: coefficiente di pressione;

Cd: coefficiente dinamico;

Ct: coefficiente di topografia;

Ce: coefficiente di esposizione (funzione di z, z0 e Ct);

z: altezza sul suolo.

Cp	Cd	Ct	Ce	z
1,00	1,00	1,00	1,84	4,27 m

**Pressione del vento**

$$p = qr Ce Cp Cd = 84 \text{ daN/mq}$$



Coefficienti di forza  $C_f$ :

- perpendicolare al colmo positivo: + 2,03
- perpendicolare al colmo negativo: - 2,88

Forza risultante:

- perpendicolare al colmo positivo: + 471,85 <daN>
- perpendicolare al colmo negativo: - 669,42 <daN>

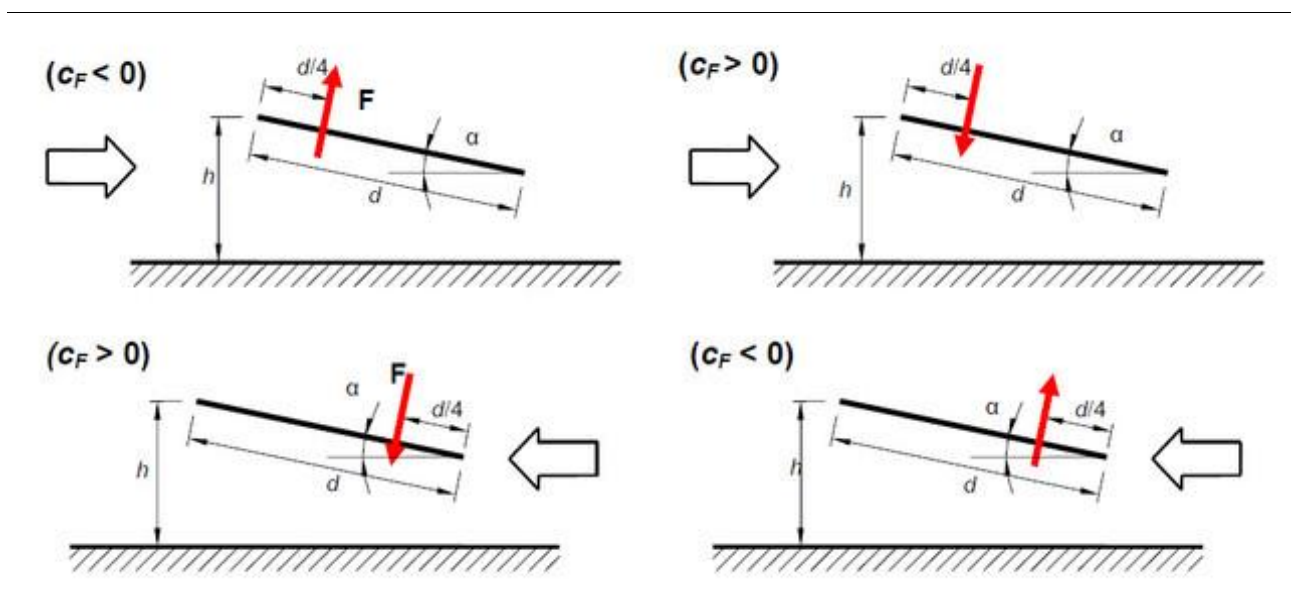
Coefficienti di forza  $C_f$ :

- vento parallelo al colmo positivo: + 0,20
- vento parallelo al colmo negativo: - 0,50

Forza risultante:

- vento parallelo al colmo positivo: + 46,49 <daN>
- vento parallelo al colmo negativo: - 116,22 <daN>

L'azione del vento si applicherà per intero alla prima fila di pannelli fotovoltaici per il dimensionamento dei supporti di fondazione.



### Tettoie a semplice falda

posizione del punto di applicazione della forza risultante in funzione della direzione di provenienza del vento e della direzione della forza

Nel nostro caso, risultando il sostegno dei pannelli posizionato al centro del lato "d" risulta ininfluente la direzione dell'azione del vento ed influisce solo l'entità della forza "F". Pertanto la combinazione peggiore si registra nel caso del valore della forza  $F = - 669,42$  daN.

## Temperatura dell'aria esterna

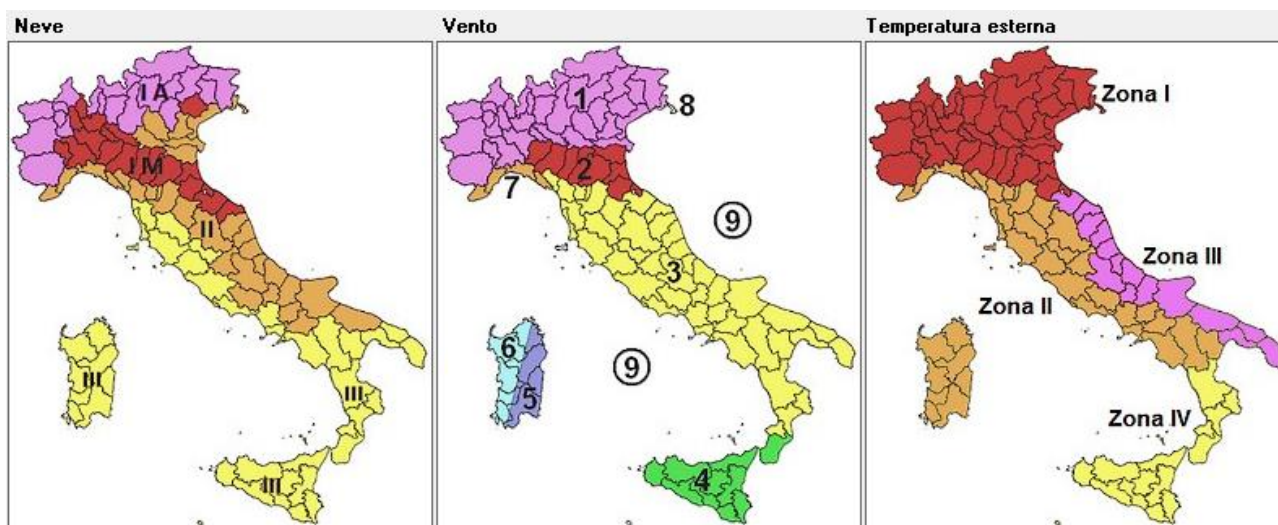
Le temperature esterne, T max (massima estiva) e T min (minima invernale), sono calcolate secondo le seguenti espressioni riferite alla zona climatica:

$$T \text{ min} = -8 - 7 \text{ as} / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.5})$$

$$T \text{ max} = 42 - 0,3 \text{ as} / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.6})$$

dove as è l'altitudine di riferimento

Zona	as	T min	T max
III	33 m	-8,23 °C	41,99 °C



### 6.2.3 Peso proprio dei moduli fotovoltaici

Nella figura di seguito si riporta uno stralcio della scheda tecnica dei moduli fotovoltaici, che riporta, tra i mechanical data, il peso degli stessi, pari a 44,5 kg.

Cell type	HJT Technology (210x105mm)
No. of cells	144 (2X72)
Dimensions	2620x1303x35mm
Weight	44.5 KG

Scheda tecnica modulo fotovoltaico (stralcio)

## 6.3 Fondazioni

Come rilevato nella relazione geologica del presente progetto, i terreni dell'area presentano una stratigrafia con uno strato superficiale di circa 50 cm costituito da terreno vegetale ed una frazione sottostante classificabile come "sabbie sciolte/argillose" oppure "calcarei".

### Macroarea 1

Strato	Profondità del letto (m)	Litologia	Pv (kN/mc)	Angolo di attrito Limite inferiore	Angolo di attrito Limite inferiore
1	0.5 – 0.7	Terreno vegetale consolidato per disseccamento	14.11	25.38	31.58
2	1.3 – 1.5	Sabbie sciolte	6	21.34	27.54
3	8 - 9	Sabbie argillose	15.71	31.92	38.13

Strato	Coesione non drenata (kPa)	Densità relativa	Modulo edometrico (kPa)	Modulo elastico (kPa)	Poisson
1	37.45	15-20%	19430.46	46809.75	0.30
2	25.66	<15%	9652.62	23254.04	0.35
3	61.02	50-60%	50921.08	122673.53	0.45

### Macroarea 2

Strato	Profondità del letto (m)	Litologia	Pv (kN/mc)	Angolo di attrito Limite inferiore	Angolo di attrito Limite inferiore
1	0.4 – 0.5	Terreno vegetale	13	24	26
2	0.7 - 1	Calcare molto alterato	19.59	30	32
3	1.4 - 2	Calcare fratturato	22.59	32	35
4	6 - 8	Calcare carsificato	20.47	30	32

Strato	Coesione non drenata (kPa)	Densità relativa	Modulo edometrico (kPa)	Modulo elastico (kPa)	Poisson
1	23.76	-----	20288.89	25265.413	0.44
2	157.22	-----	897180.28	1117243.37	0.45
3	283.07	-----	3233735.92	4026916.42	0.40
4	188.78	-----	1333438.17	1660507.91	0.42

### Esempio di profilo eseguito durante le indagini geologiche

Esperienze pregresse hanno dimostrato che, nonostante il carattere roccioso del calcare fratturato, è possibile realizzare la fondazione delle strutture mediante la "battitura diretta dei pali" nel terreno.

Nei casi in cui tale attività dovesse risultare impossibile, si prevede che:

- si realizzino dei preforni, di adeguato diametro, riempiti poi con graniglia di roccia, a secco (ovvero senza l'ausilio di aggreganti o cementi di alcun tipo), della stessa natura del terreno di fondazione;
- si proceda con la battitura del palo nel preforno colmo di graniglia.

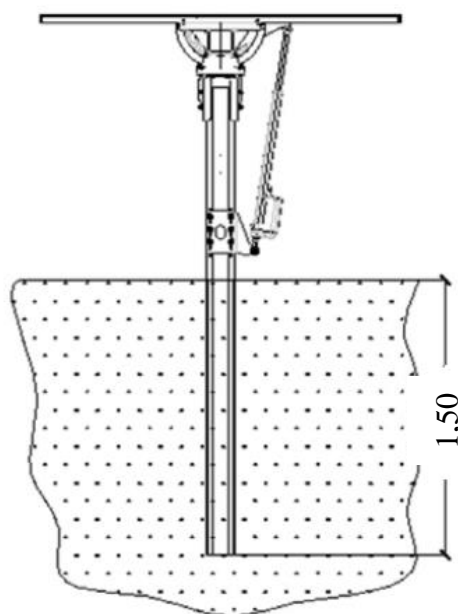
## 6.4 Modellazione

Considerata la lunghezza complessiva dell'allineamento di pannelli fotovoltaici che rappresentano la configurazione tipica del tracker, si può assimilare la trave di sostegno ad una trave continua. Vista inoltre la tipologia di connessione tra la trave e il pilastrino, tale nodo può essere assimilato ad un appoggio semplice.



**Schema nodo trave-pilastrino**

Come previsto dalle specifiche tecniche del sistema ad inseguimento solare considerato, le colonne a cui sarà fissata la trave continua rappresenta anche l'elemento di fondazione. Nel caso specifico le colonne saranno infisse nel terreno di fondazione, mediante battitura diretta nel terreno.



**Tipologia infissione**

L'analisi strutturale è condotta sia con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici sia con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

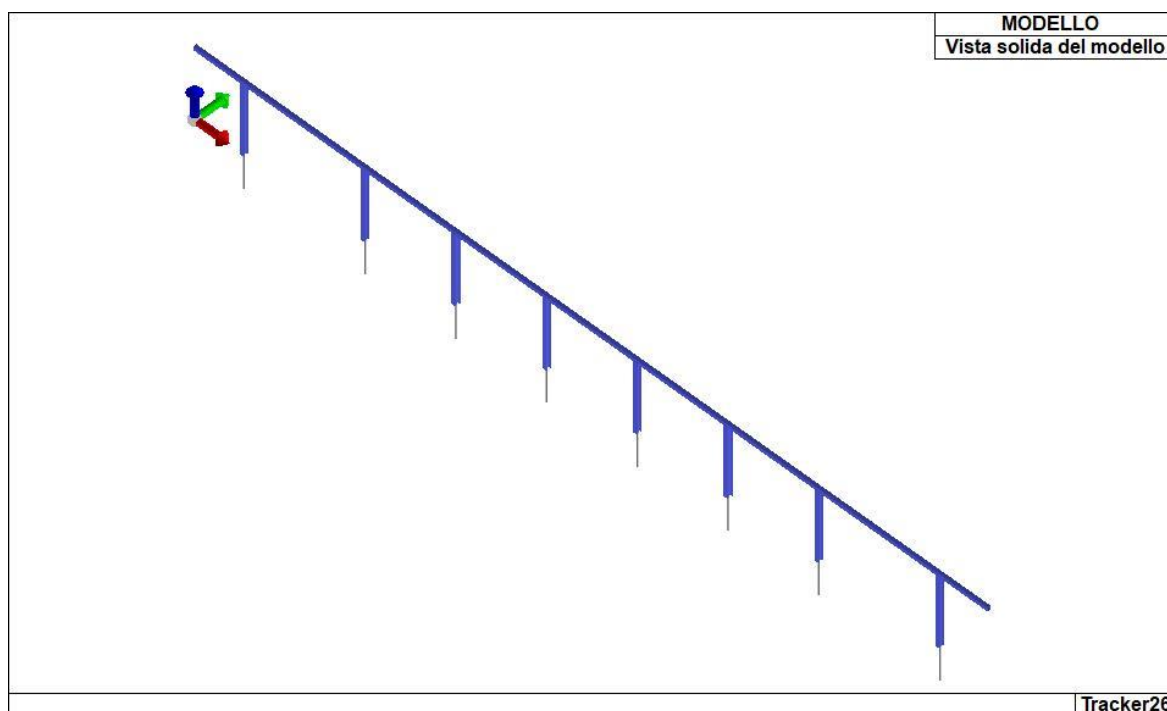
L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F}$$

dove  $\mathbf{K}$  = matrice di rigidezza  
 $\mathbf{u}$  = vettore spostamenti nodali  
 $\mathbf{F}$  = vettore forze nodali

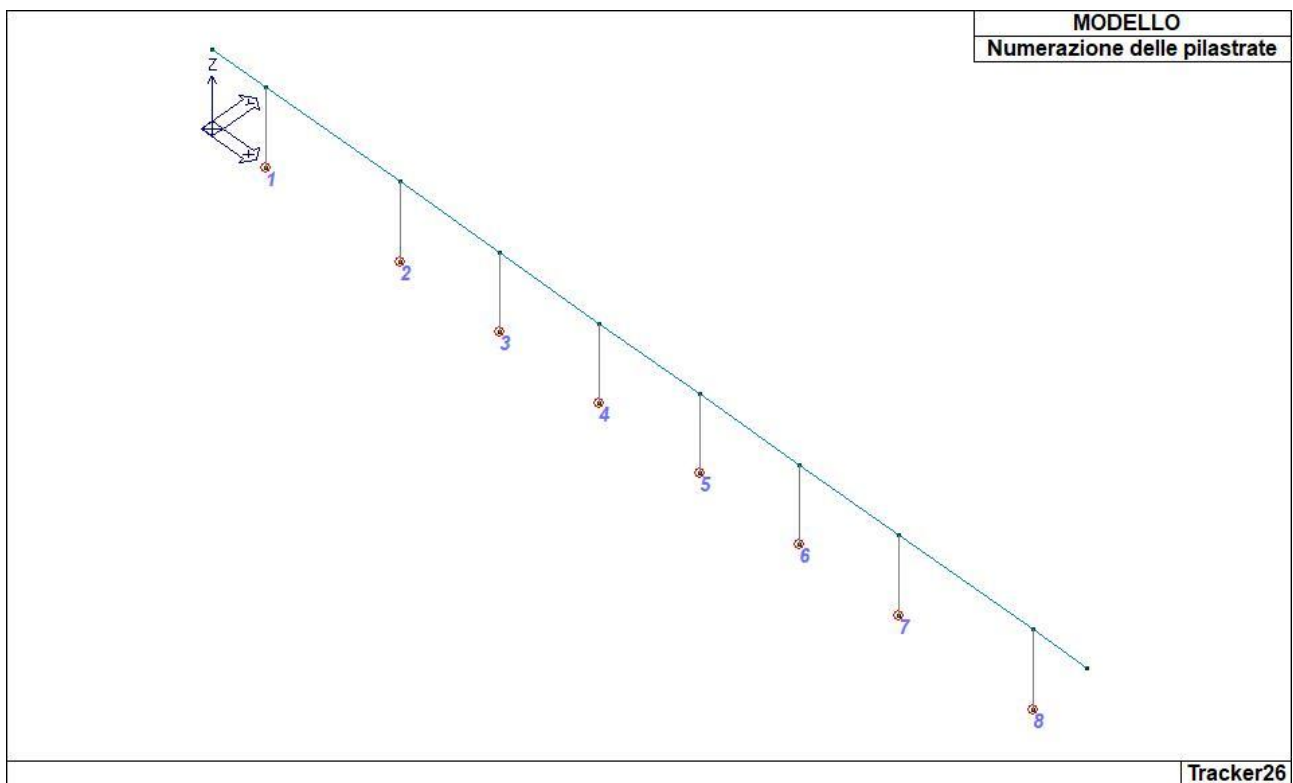
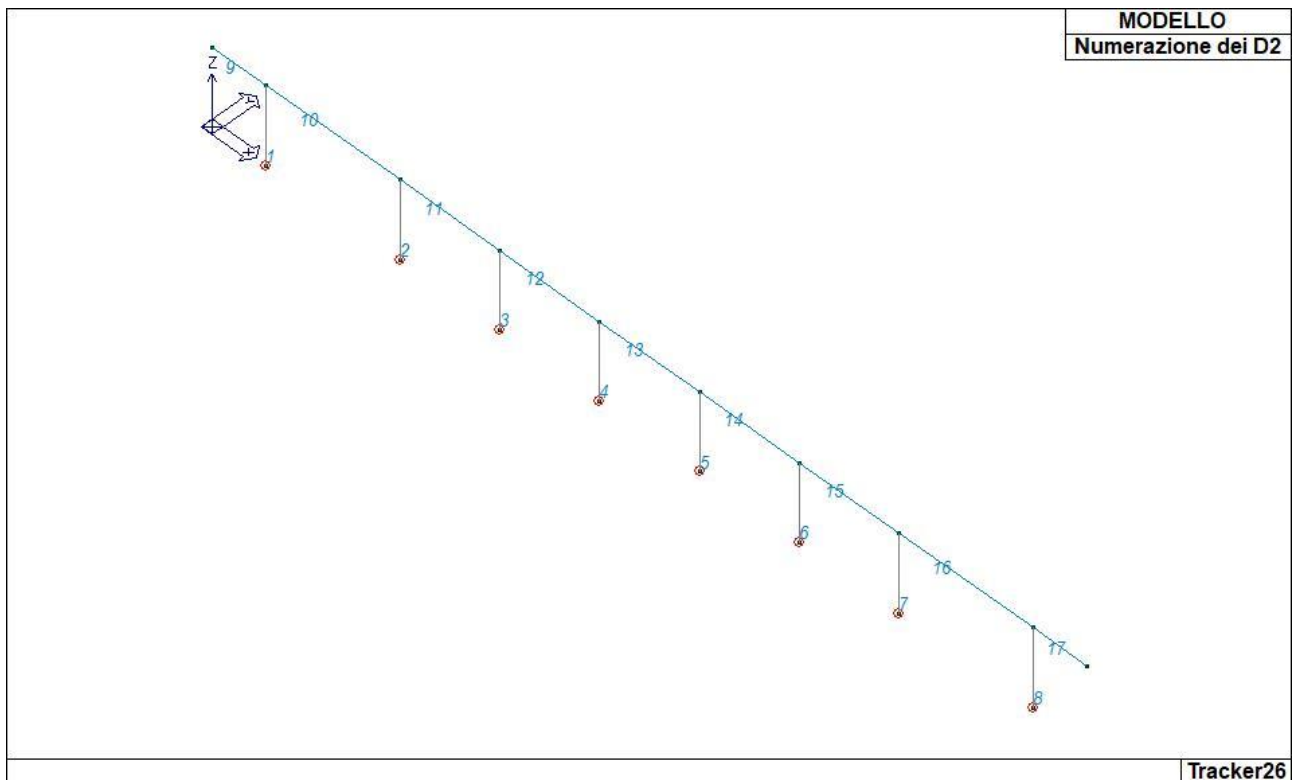
Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente a una terna locale all'elemento stesso.

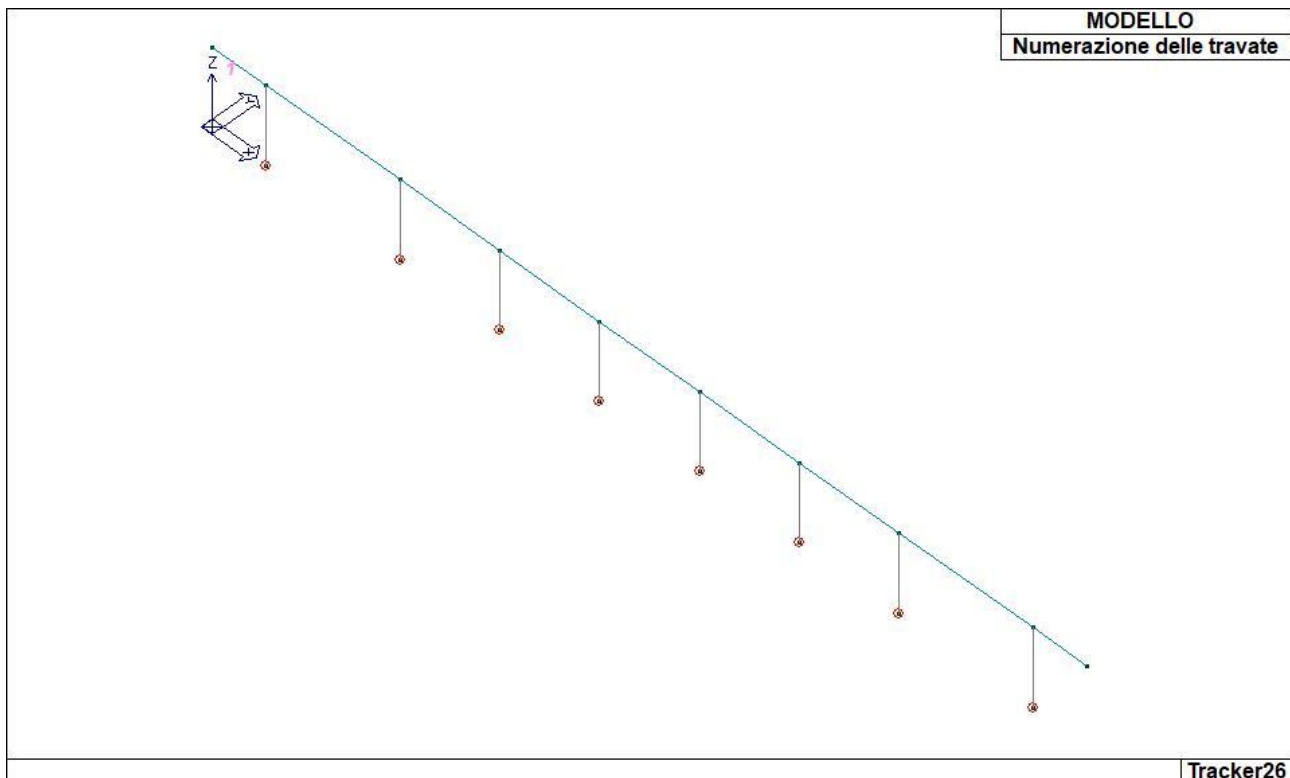
Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.





A seguire si riportano le immagini relative alle numerazioni di interesse:





Si riportano di seguito le caratteristiche di sezioni e spessori degli elementi strutturali, in formato tabellare e immagini:

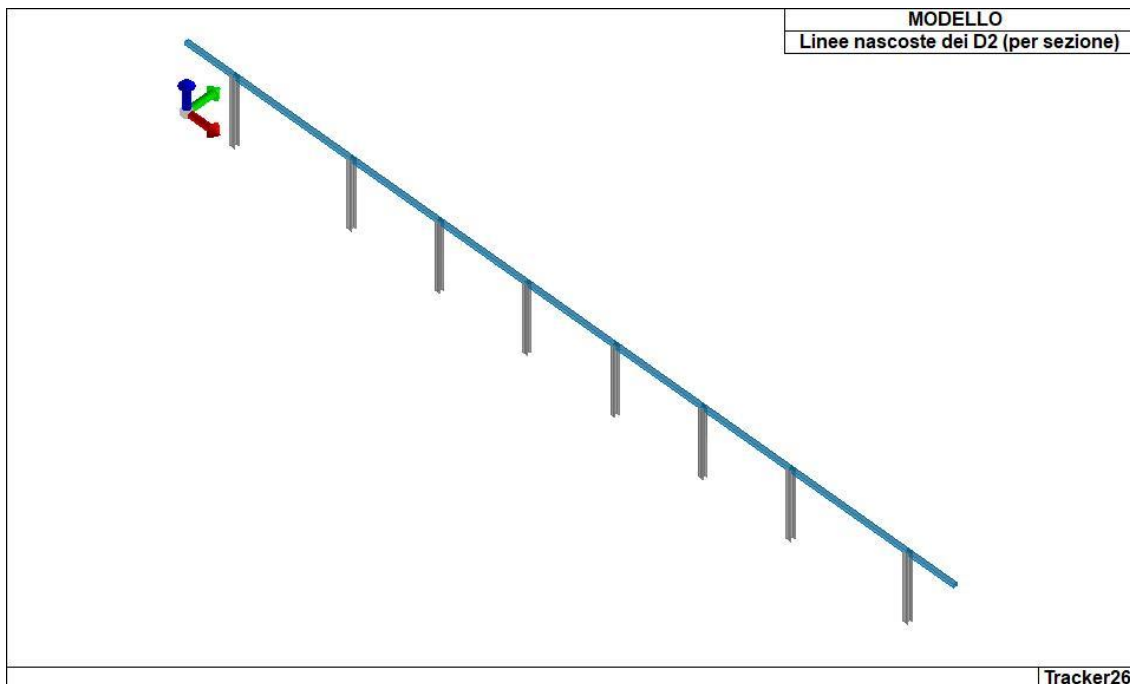
TABELLA\_SEZIONI

Id	Tipo SEZ	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
-	-	cm2	cm2	cm2	cm4	cm4	cm4	cm3	cm3	cm3	cm3
1	HEA 200	53.80	0.0	0.0	21.00	1336.00	3692.00	133.60	388.60	203.80	429.50
2	T.QU 150x3	17.96	0.0	0.0	952.96	636.00	636.00	84.70	84.70	97.25	97.25

## Legenda

- Tipo SEZ Indica il nome identificativo e la tipologia di sezione
- Area Area della sezione
- A V2 Area della sezione/Fattore di taglio (direzione 2)
- A V3 Area della sezione/Fattore di taglio (direzione 3)
- Jt Momento di inerzia torsionale della sezione
- J 2-2 Momento di inerzia della sezione riferito all'Asse 2
- J 3-3 Momento di inerzia della sezione riferito all'Asse 3
- W 2-2 Modulo di resistenza della sezione riferito all'Asse 2
- W 3-3 Modulo di resistenza della sezione riferito all'Asse 3
- Wp 2-2 Modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'Asse 2
- Wp 3-3 Modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'Asse 3





Le analisi numeriche da cui sono stati dedotti i valori delle sollecitazioni di progetto sono il risultato dell'analisi svolta con l'ausilio del software di modellazione e verifica "**Pro\_SAP**" della 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., con i moduli aggiuntivi PRO\_SAP Modulo Geotecnico. Tutti i dettagli delle verifiche sono riportati nell'allegato tabulato di calcolo.

## 6.5 Carichi agenti sulla testa della colonna

### Carichi sulla testa della colonna:

Vento	$669,42 \text{ daN} \times 26 \text{ pannelli} =$	17.404,92 daN
		9.983,05 daN lungo z
		14.257,28 daN lungo x
Momento testa palo	$17.404,92 \text{ daN} \times 3,18 \text{ m} =$	55.347,64 daN m
		inclinazione del pannello 55°
Neve	$26 \times 2,620 \times 1,303 \times 48 \text{ daN/ m}^2 =$	4.260,49 daN;
Peso pannelli	$44,5 \text{ daN} \times 26 =$	1.157 daN
Peso trave	$13,85 \text{ daN/m} \times 35 \text{ m} =$	484,75 daN

### Il tracker in oggetto ha 8 colonne di sostegno pertanto i carichi vanno ripartiti sulle 8 colonne:

Vento	$17.404,92 \text{ daN} / 8 =$	2.175,61 daN
Momento testa palo	$55.347,64 \text{ daN m} / 8 =$	6.918,45 daN m
Neve	$4.260,49 \text{ daN} / 8 =$	532,56 daN
Peso pannelli	$1.157 \text{ daN} / 8 =$	144,62 daN
Peso trave	$484,75 \text{ daN} / 8 =$	60,59 daN

## 6.6 Combinazioni di carico

Il programma combina i diversi tipi di casi di carico (CDC) secondo le regole previste dalla normativa vigente.

Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

La prima tabella delle combinazioni riportata di seguito comprende le seguenti informazioni: Numero, Tipo, Sigla identificativa. Una seconda tabella riporta il peso nella combinazione assunto per ogni caso di carico.

*Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:*

### **Combinazione fondamentale SLU**

$$\gamma G1 \cdot G1 + \gamma G2 \cdot G2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q1 \cdot Qk1 + \gamma Q2 \cdot \psi 02 \cdot Qk2 + \gamma Q3 \cdot \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$$

### **Combinazione caratteristica (rara) SLE**

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \cdot Qk2 + \psi 03 \cdot Qk3 + \dots$$

### **Combinazione frequente SLE**

$$G1 + G2 + P + \psi 11 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$$

### **Combinazione quasi permanente SLE**

$$G1 + G2 + P + \psi 21 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \psi 23 \cdot Qk3 + \dots$$

### **Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E**

$$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \dots$$

### **Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite connessi alle azioni eccezionali**

$$G1 + G2 + Ad + P + \psi 21 \cdot Qk1 + \psi 22 \cdot Qk2 + \dots$$

Dove:

NTC 2018 Tabella 2.5.I

<b>Destinazione d'uso/azione</b>	$\psi 0$	$\psi 1$	$\psi 2$
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini, ...	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli $\leq 30kN$ )	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30kN$ )	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota $\leq 1000 m$	0,50	0,20	0,00
Neve a quota $> 1000 m$	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

Nelle verifiche possono essere adottati in alternativa due diversi approcci progettuali:

- per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza globale (combinazione 1 con coefficienti A1 e combinazione 2 con coefficienti A2),
- per l'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale (con coefficienti A1).

NTC 2018 Tabella 2.6.I

		Coefficiente	<b>EQU</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>
		$\gamma_f$			
<i>Carichi permanenti</i>	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	<i>Sfavorevoli</i>		1,1	1,3	1,0
<i>Carichi permanenti non strutturali (Non compiutamente definiti)</i>	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	<i>Sfavorevoli</i>		1,5	1,5	1,3
<i>Carichi variabili</i>	<i>Favorevoli</i>	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	<i>Sfavorevoli</i>		1,5	1,5	1,3

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	Comb. SLU A1 1
2	SLU	Comb. SLU A1 2
3	SLE(r)	Comb. SLE(rara) 3
4	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 4
5	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 5
6	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 6
7	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 7
8	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 8
9	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 9
10	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 10
11	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 11
12	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 12
13	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 13
14	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 14
15	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 15
16	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 16
17	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 17
18	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 18
19	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 19
20	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 20
21	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 21
22	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 22
23	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 23
24	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 24
25	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 25
26	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 26
27	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 27
28	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 28
29	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 29
30	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 30
31	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 31
32	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 32
33	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 33
34	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 34
35	SLU	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 35

Cmb	Tipo	Sigla Id
36	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 36
37	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 37
38	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 38
39	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 39
40	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 40
41	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 41
42	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 42
43	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 43
44	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 44
45	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 45
46	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 46
47	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 47
48	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 48
49	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 49
50	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 50
51	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 51
52	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 52
53	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 53
54	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 54
55	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 55
56	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 56
57	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 57
58	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 58
59	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 59
60	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 60
61	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 61
62	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 62
63	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 63
64	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 64
65	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 65
66	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 66
67	SLE(sis)	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 67
68	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 68
69	SLU(ecc.)	Comb. SLU (Eccesz.) 69
70	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 70

## 6.7 Verifiche strutturali e accettabilità dei risultati

Le verifiche della fondazione su palo battuto sono riportate nell'allegata relazione di calcolo e verifica.

Risultando il palo battuto e il terreno che lo accoglie verificato, la struttura risulta verificata a ribaltamento.

Il programma prevede una serie di controlli automatici (check) che consentono l'individuazione di errori di modellazione. Al termine dell'analisi un controllo automatico identifica la presenza di spostamenti o rotazioni abnormi. Si può pertanto asserire che l'elaborazione sia corretta e completa. I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne comprovano l'attendibilità. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali e adottati, anche in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. Si allega al termine della presente relazione elenco sintetico dei controlli svolti (verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.).

## 6.8 Conclusioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti risulta che le verifiche condotte con il D.M. 17.01.2018 sono a favore di sicurezza e soddisfano ogni prescrizione della normativa vigente, pertanto la struttura così progettata è atta a sopportare i carichi di progetto sopra menzionati.

Per le verifiche dettagliate degli elementi strutturali oggetto della presente relazione si rimanda alla relazione di calcolo e verifica.