



Comuni di
SANTERAMO IN COLLE (BA)
MATERA (MT)

PROGETTO DEFINITIVO
Impianto agrovoltaico "San Francesco"
della potenza di **30,158 MW in DC**

COMMITTENTE:



SANFRANCESCO Srl
Viale Duca d'Aosta, 51
39100 Bolzano
VAT: 03044290215
Tel: 0039 02 45440820

PROGETTAZIONE:

SOLAR KONZEPT ITALIA Srl
Via Fabio Filzi, 25/A
20124 Milano
VAT: 02988580219
Tel: 0039 02 45440820

IL TECNICO:

Dott. Arch. Marco Chiappa
Via Fabio Filzi, 25/A
20124 Milano
Tel: 0039 3388724465
Pec: chiappa.16531@oamilano.it

PD

PROGETTO DEFINITIVO

**RELAZIONE PRELIMINARE
STRUTTURE**

Tavola:

19

Data 1ª emissione:
Novembre 2022

Redatto:

Verificato:

Approvato:

Scala:

Protocollo SKI:

n° revisione

1	
2	
3	
4	

SKI01_2022

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2. OPERE EDILI	5
2.1. RECINZIONE	5
2.2. STRUTTURE DI FISSAGGIO MODULI FOTOVOLTAICI - TRACKER	5
2.3. DISMISSIONE DELLE FONDAZIONI	7
2.1. SCAVI E RINTERRI	7
2.2. VIABILITA' INTERNA	7
2.3. CABINE ELETTRICHE	8
3. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO	10
3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA	10
3.2. CARATTERIZZAZIONE EOLICA DELL'AREA	11
3.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA	12
4. CARICHI AGENTI	16
4.1. AZIONE DEL VENTO	16
4.2. CARICO NEVE	17
4.3. AZIONE SISMICA	18
4.4. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA	19
4.5. COMBINAZIONI DI CARICO	19
5. ANALISI DELLA STRUTTURA	20
5.1. RISULTATI ANALISI	20
5.2. CALCOLO PORTANZA LATERALE DEL PALO	22

1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la “*Relazione preliminare delle strutture*” relativa al progetto di un impianto agrovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile solare tramite conversione fotovoltaica, della potenza nominale in DC di **30,158 MW** denominato “**Sanfrancesco**” in agro del Comune di Sateramo in Colle (BA) e delle relative opere di connessione alla Rete di Trasmissione dell’energia elettrica Nazionale (RTN) necessarie per la cessione dell’energia prodotta.

In particolare, nel presente documento si farà riferimento ai pali di fondazione per le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle recinzioni.

L’impianto agrovoltaico sarà collegato tramite cavidotto interrato MT alla stazione di trasformazione e condivisione 30/150 kV, **già autorizzata** per i procedimenti PAUR di due iniziative della casa madre (Barberio Srl; Natuzzi Srl), sita nel comune di Matera (MT). Essa sarà collegata attraverso un cavo AT 150kV allo stallo condiviso 150kV interno alla SE Terna 150/380kV, localizzata nel Comune di Santerramo in Colle (BA), che rappresenta il punto di connessione dell’impianto alla RTN.

Terna S.p.A., ha rilasciato alla Società proponente la “Soluzione Tecnica Minima Generale” n. 201800567 del 04/03/2019, indicando le modalità di connessione che, al fine di razionalizzare l’utilizzo delle opere di rete per la connessione, prevede la condivisione, con ulteriori utenti, dello stallo AT nel futuro ampliamento della stazione di trasformazione RTN 380/150 kV di “Matera-Iesce”.

La Società proponente ha inoltre stipulato un accordo di condivisione con le società Barberio Srl, Natuzzi Srl, Canadian Solar Construction Srl, Solare Italia Srl, Torna Sole Srl, al fine di condividere l’utilizzo della SE 30/150 kV e collegarsi allo stallo previsto nell’ampliamento della SE TERNA 380/150 kV “Matera-Iesce”.

L’energia elettrica prodotta dall’impianto agrovoltaico sarà elevata alla tensione di 150 kV mediante un trasformatore della potenza di 50-60 MVA ONAN/ONAF, collegato a un sistema di sbarre con isolamento in aria, che, con un elettrodotto interrato a 150 kV in antenna, si conetterà alla sezione 150 kV della SE Terna.

La Società proponente **SANFRANCESCO S.r.l.**, con sede legale alla Viale Duca d’Aosta, 51 – 39100 BOLZANO, intende realizzare l’impianto agrovoltaico su di un terreno con destinazione agricola, esteso per circa Ha 61,3212 distinto in Catasto al Foglio 103 Particelle 328-327-325-

323-319-326-324-306-179-307-303-182-545-305-543-305-543-304-546-180-329-331-499-498-333-183-337-335-336-181-347-23-119-194-523-520-257-522-515-279-521-291-281-524-280-525-124-31-14-344-157-345-214-163-15-187-216-284-217-55-131. La nuova Stazione Elettrica di Trasformazione Utente 30/150 kV verrà realizzata su di un terreno distinto in Catasto al Foglio 19 Particelle 244, 199, 200, 201.



Il progetto di cui questo elaborato è parte integrante ed è stato redatto ai sensi del D.lgs n°387 del 29/12/2003, delle Linee guida del Ministero dello sviluppo economico - D.M. 10-9-2010 - Linee guida

per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili e della Deliberazione Della Giunta Regionale 30 dicembre 2010, n. 3029: Approvazione della Disciplina del procedimento unico di autorizzazione alla realizzazione ed all'esercizio di impianti di produzione di energia elettrica, nonché nel rispetto del Regolamento Edilizio del Comune di Melfi e delle Norme Igienico Sanitarie.

Le soluzioni tecniche adottate per le fondazioni del parco fotovoltaico e delle relative recinzioni derivano dalle considerazioni riportate all'interno della relazione geologica effettuata sull'area di intervento. Le principali strutture, tanto in elevazione quanto in fondazione, è previsto che saranno realizzate in acciaio zincato a caldo.

1.1 Normativa di riferimento

- ✓ D.lgs., n. 387/2003, art.12, attuativo della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità. Questa normativa prevede che l'autorizzazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili è soggetta a una procedura semplificata e unica, di competenza regionale (o di un ente delegato), introdotta al fine di agevolare lo sviluppo di nuovi impianti di tal genere sul territorio nazionale. L'art. 12 attribuisce il carattere di pubblica utilità alle opere per la realizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. "L'autorizzazione unica" si caratterizza per un procedimento al quale partecipano tutte le amministrazioni interessate e costituisce titolo a costruire ed esercire l'impianto in conformità al progetto approvato;
- ✓ D. Lgs. n. 152/2006, recante norme in materia ambientale (c.d. Codice dell'ambiente);
- ✓ Decreto legislativo 6 luglio 2017, n. 104, "Attuazione della direttiva 2014/52/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 aprile 2014, che modifica la direttiva 2011/92/UE, concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati";
- ✓ L.R. 47/98 che disciplina la valutazione di impatto ambientale e prevede norme per la tutela dell'ambiente .
- ✓ P.I.E.A.R., Piano di Indirizzo Energetico Ambientale Regionale, approvato con L.R. 19/01/2010 n.1 e pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Basilicata del 19/01/2010;
- ✓ Deliberazione della Giunta regionale 29 dicembre 2010, n. 2260, recante "Legge regionale 19 gennaio 2010, n. 1 - Approvazione disciplinare e relativi allegati tecnici";
- ✓ Deliberazione della Giunta regionale 15 febbraio 2011, n. 191, recante "Approvazione dei criteri di preliminare ammissibilità dei progetti";
- ✓ Legge regionale 26 aprile 2012, n. 8, recante "Disposizioni in materia di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili";

- ✓ Deliberazione della Giunta regionale 7 luglio 2015, n. 903, recante “Individuazione delle aree e dei siti non idonei all’installazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili”;
- ✓ Legge regionale 30 dicembre 2015, n. 54, recante “Recepimento dei criteri per il corretto inserimento nel paesaggio e sul territorio degli impianti da fonti di energia rinnovabili ai sensi del d.m. 10.09.2010”;
- ✓ Linee guida per la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale, pubblicate sul Bollettino Ufficiale della Regione Basilicata del 1° febbraio 2019;
- ✓ D.P.R. n. 327/01 e s.m.i. , Testo Unico in materia di espropriazione per pubblica utilità;
- ✓ Linee guida Deliberazione 22 Gennaio 2019, n.46 della Regione Basilicata (PAUR).
- ✓ D.M. Infrastrutture 17/1/2018 – “Norme Tecniche per le costruzioni” – pubblicato su S.O. n°8 alla G.U. 20/2/2018, n°42,
- ✓ Circolare 21/1/2019 n°7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l’applicazione dell’”Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 – pubblicato su S.O. n°5 della G.U. 11/2/2019 n°35.

2. OPERE EDILI

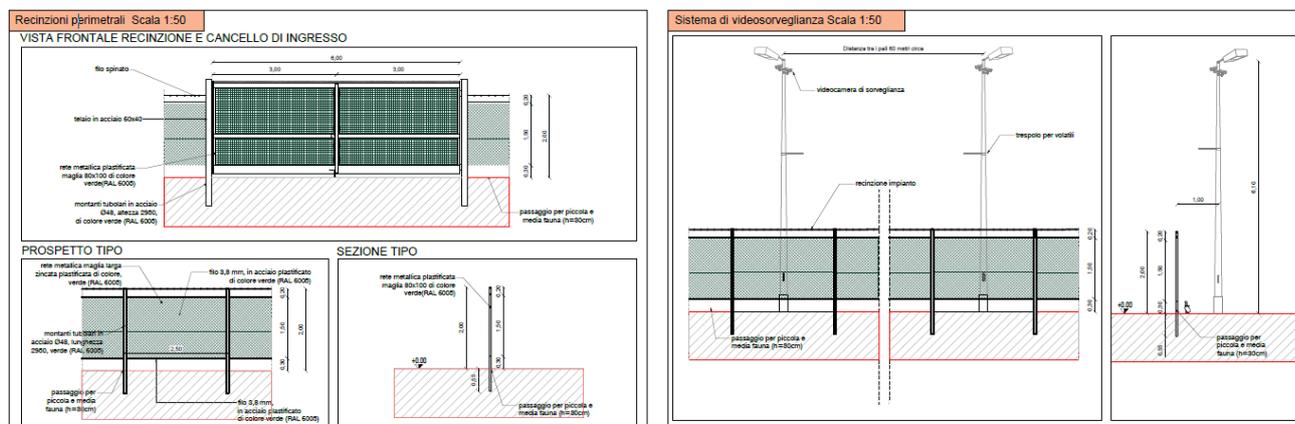
2.1. RECINZIONE

La recinzione sarà costituita da una rete metallica a maglia larga con montanti in acciaio zincato a caldo, posizionati perfettamente in linea tra loro secondo le prescrizioni del produttore e ancorati nel terreno attraverso l'infissione degli stessi di circa 60 cm.

Tale soluzione tecnica adottata per l'ancoraggio al terreno ha il vantaggio di essere rapida, semplice e reversibile, riducendo al minimo l'impatto ambientale e preservando la condizione naturale del terreno.

A protezione del perimetro dell'area interessata, sulla sommità dei pali sarà montato un filo spinato in acciaio.

A completamento della recinzione sarà installato un cancello d'ingresso avente le stesse caratteristiche di quest'ultima e pali laterali realizzati con profili in acciaio zincato a caldo infissi anch'essi nel terreno.



2.2. STRUTTURE DI FISSAGGIO MODULI FOTOVOLTAICI - TRACKER

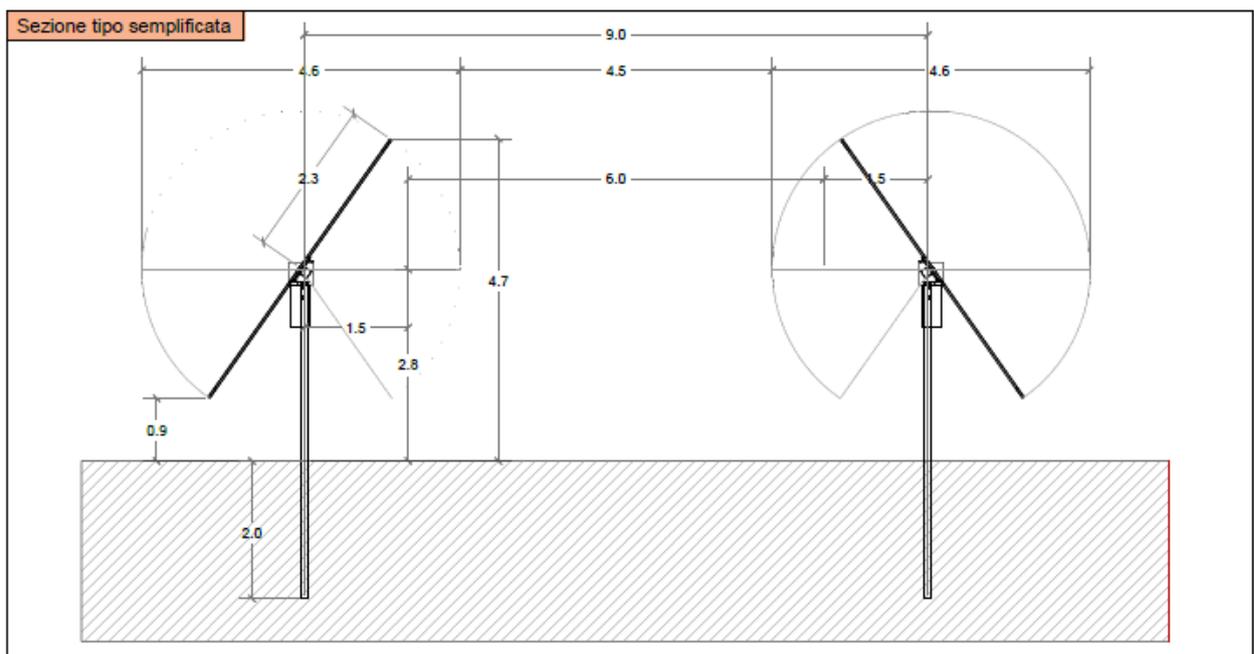
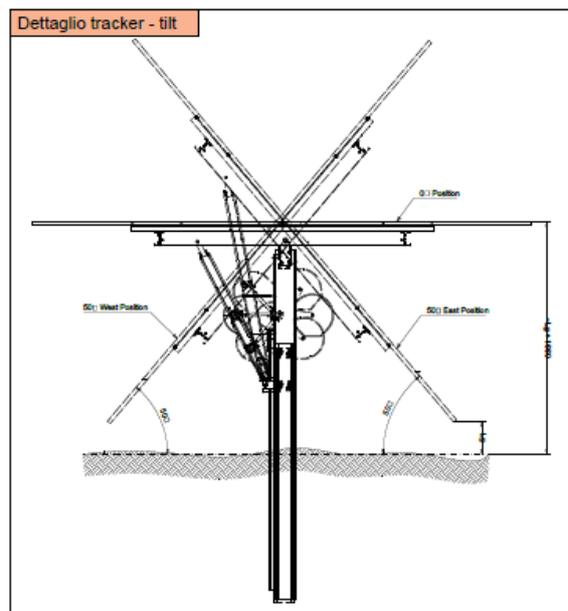
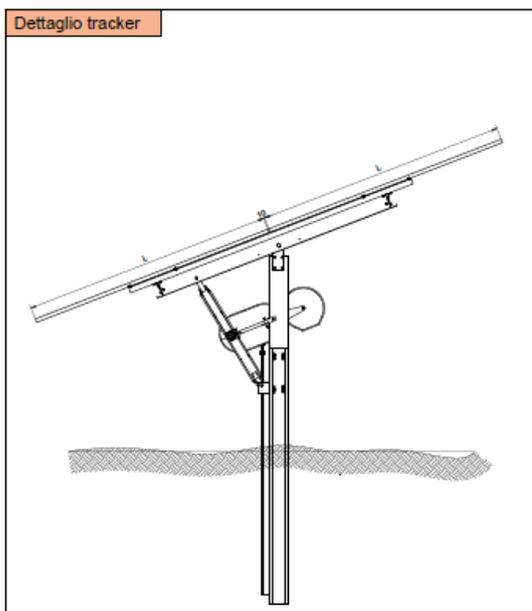
L'ancoraggio della struttura di supporto dei pannelli fotovoltaici al terreno sarà affidato ad un sistema di fondazione costituito da pali in acciaio zincato **infissi nel terreno tramite battitura**, laddove le condizioni del terreno non lo permettano si procederà tramite trivellazione.

Le strutture saranno del tipo TRACKER.

I vantaggi di tale tipologia di fondazione sono molteplici, ovvero:

- ✓ tempi di realizzazione delle fondazioni particolarmente ridotti;

- ✓ non necessità della realizzazione di scavi e getto di calcestruzzo;
- ✓ ridotto impiego di personale per la posa;
- ✓ reversibilità dell'intervento per la facile rimozione dei pali;
- ✓ possibile riutilizzo e riciclaggio dei pali;
- ✓ minimo impatto ambientale in riferimento all'armonia del paesaggio e alla contaminazione dell'acqua del sottosuolo.



2.3. DISMISSIONE DELLE FONDAZIONI

Al termine della vita utile dell'impianto i pali di fondazione saranno estratti dal terreno e potranno essere facilmente riutilizzati.

La vasca di fondazione delle cabine elettriche sarà estratta dal terreno tramite l'utilizzo di un piccolo escavatore e trasportata in un sito idoneo allo smaltimento.

2.1. SCAVI E RINTERRI

L'impianto non prevede scavi di sbancamento e risezionamento del terreno in quanto le strutture da posizionare seguiranno l'andamento morfologico dello stesso.

Gli scavi previsti saranno:

- ✓ Scavi per la posa delle vasche prefabbricate di fondazione delle cabine;
- ✓ Scavi per la posa di condutture di ogni tipo.

Entrambe le tipologie di scavo saranno realizzate a sezione con l'ausilio di mezzi meccanici e raggiungeranno il piano di posa dei manufatti/cavidotti, superandoli di circa 10 cm. Lungo il percorso dei cavidotti saranno posizionati pozzetti prefabbricati rompitratta in cls prefabbricato.

Per i rinterri si utilizzerà una piccola quantità di sabbia (letto di posa per i cavidotti e le cabine prefabbricate); la restante parte dei rinterri sarà realizzata con il materiale di risulta dello scavo.

Le tubazioni di scolo e i fossi scoperti pubblici o privati che fossero eventualmente incontrati negli scavi saranno conservati all'uso previ accordi con i singoli enti o proprietari.

Saranno adottate tutte le precauzioni necessarie per ottemperare alle normative vigenti sulla sicurezza delle cose e delle persone. Inoltre, saranno presi tutti gli accorgimenti per evitare di intralciare il traffico veicolare, sia con il cantiere in sé che con i materiali di risulta.

2.2. VIABILITA' INTERNA

All'interno dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico verranno realizzati dei percorsi carrabili per consentire una viabilità agevole per gli spostamenti all'interno dell'impianto, per l'accesso ai pannelli fotovoltaici nonché per l'accesso alle cabine e vani tecnici. Le infrastrutture viarie saranno realizzate, ai fini di un corretto inserimento ambientale con la soluzione del Misto Stabilizzato così da non dover effettuare importanti movimenti terra e prediligere la compattazione del terreno con aggiunta di materiale lapideo”.

Le sezioni tipo, in genere di riporto, di sterro e mista, verranno utilizzate a seconda delle sezioni stradali seguendo come criterio progettuale quello di limitare il più possibile le movimentazioni di terra nel rispetto dell'ambiente circostante.

Per quanto concerne le acque meteoriche è prevista una pendenza trasversale della sede stradale del 2% per tutte le tipologie di sezioni tipo definite: questa è rivolta verso i lembi esterni della medesima sede per allontanare le acque meteoriche e farle confluire nel terreno sottostante in cui verranno realizzate cunette per lo scorrimento delle acque meteoriche.



2.3. CABINE ELETTRICHE

All'interno della recinzione dell'impianto fotovoltaico troveranno ubicazione le seguenti cabine elettriche: *Cabina di Raccolta MT, Cabine dei Servizi Ausiliari e 10 Cabine di campo.*

Queste ultime saranno costituite da due box prefabbricati affiancati ospitanti rispettivamente gli inverter e i trasformatori.

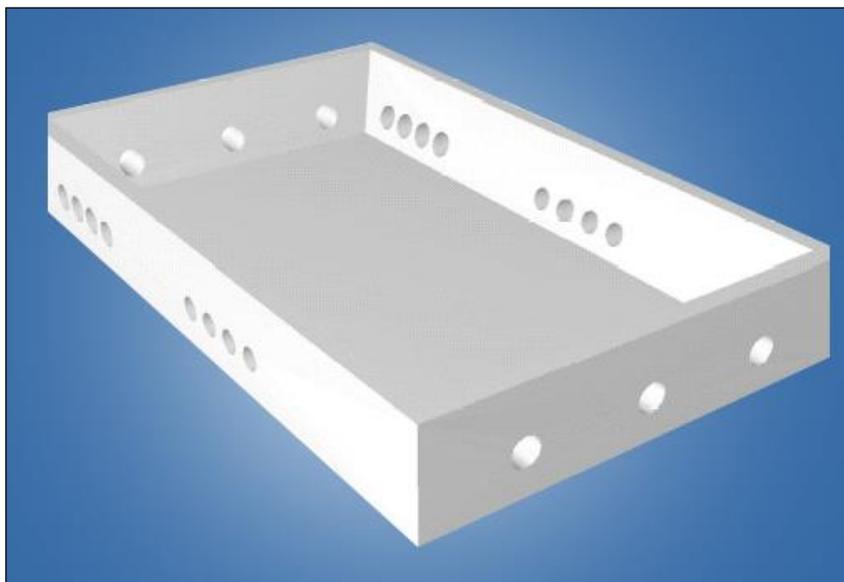
Le cabine, dedicate all'alloggiamento delle apparecchiature elettriche, saranno costituite da **monoblocchi prefabbricati** con struttura monolitica autoportante senza giunti di unione tra le pareti

e tra queste ed il fondo realizzato in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa. Le pareti del monoblocco avranno uno spessore di 8 cm. (NomEL n° 5 del 5/89).

Il tetto del monoblocco sarà realizzato a parte, sempre con cls armato alleggerito. Dopo essere stato impermeabilizzato con uno strato di guaina bituminosa ardesiata dello spessore di 4 mm, verrà appoggiato sulle pareti verticali consentendo pertanto lo scorrimento dello stesso per effetto delle escursioni termiche. La conformazione del tetto sarà tale da assicurare un normale deflusso delle acque meteoriche, per tale motivo non sono previsti tubi di gronda all'esterno e/o all'interno del monoblocco.

Le cabine elettriche saranno portate in loco e saranno posizionate su una vasca di fondazione prefabbricata della tipologia illustrata nella figura sottostante. Le dimensioni specifiche delle fondazioni di ciascuna fondazione sono riportate all'interno della tavola **SK_SAN-45-Dettagli costruttivi cabinati**.

Si precisa che per il posizionamento delle cabine non sarà necessaria la realizzazione di fondazioni in c.a., in quanto le stesse saranno composte da prefabbricati alloggiati nel terreno, previo scavo di fondazione di circa 1 metro sul quale verrà steso uno strato di geo tessuto e un letto di misto granulare stabilizzato per uno spessore di circa cm 10 che assolverà ad una funzione livellante.



Vasca di fondazione

Tutte le dimensioni delle cabine sono state progettate in funzione agli ingombri delle apparecchiature previste e dei necessari spazi di manovra e di sicurezza.

3. CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO

3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'AREA

Dal punto di vista geologico, al di sotto della copertura di terreno vegetale (circa 2 m), localmente l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di sabbie quarzose calcaree debolmente cementate (Qc s), di colore prevalentemente giallastro, con frequenti lenti conglomeratiche ed intercalazioni calcarenitiche (Qc cs). Nell'area in esame affiorano cospicuamente, costituendo la parte alta dei versanti e le superfici di cresta dei rilievi.

A letto poggiano sull'unità argillosa di base mentre a tetto passano, in continuità di sedimentazione e per alternanze, all'unità conglomeratica di chiusura del ciclo regressivo. Lo spessore dell'unità non supera i cento metri. L'età delle "Sabbie di Monte Marano" è ascrivibile al Pleistocene medio-inferiore, durante il quale si deposero in ambiente marino litorale. In particolare, sulla base del rilevamento geologico in situ, dalle conoscenze dello scrivente e dalle indagini eseguite, la stratigrafia del sito sottostante l'area oggetto di studio si caratterizza nella seguente maniera partendo dall'alto verso il basso:

- Terreno vegetale (spessore circa 2 m)
- Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi: si rinvengono al di sotto della coltre di terreno vegetale con spessori variabili da un minimo di 5 m ad un massimo di 10 m. Sono costituiti da sabbie, sabbie debolmente limose con ciottoli calcarenitici e spesso sede, come nel caso in esame, di una falda sostenuta dalle sottostanti argille e che si attesta ad una profondità di circa 3-4 m dal p.c.
- limi argilloso-sabbiosi di colore giallastro, compatti. Si rinvengono per uno spessore medio di 7-8 m
- argille limose e marnose di colore grigio, compatte. Per uno spessore di circa 20 m

Di seguito (*Tabella 1*) sono riportate le caratteristiche geotecniche del materiale del substrato.

γ	$[kN/m^3]$	14,50
ϕ	$[^\circ]$	32
δ	$[^\circ]$	16

c	[kN/m ²]	1,09
Kp	[/]	2,21

Tabella 1: parametri geotecnici dell'area in esame.

I parametri geotecnici riportati in precedenza rappresentano un'assunzione fatta a favore di sicurezza, dal momento che tali parametri sono destinati a crescere con la profondità.

3.2. CARATTERIZZAZIONE EOLICA DELL'AREA

Dall'analisi del posizionamento geografico e sulla base della Normativa Tecnica a disposizione (NTC 2018) è stato possibile stabilire che:

- *Macrozonazione eolica*: il sito è posizionato in zona 3, a cui corrispondono i parametri di velocità ed altezza di riferimento riportati di seguito (Tabella 2).

Zona	[/]	3
V_{b,0}	[m/s]	27,00
a₀	[m]	500
k_s	[1/s]	0,37

Tabella 2: parametri di macrozonazione eolica.

- *Microzonazione*: è stato possibile determinare il collocamento dell'area d'interesse in classe di rugosità "D" con categoria di esposizione "II". Da ciò scaturiscono i parametri (Tabella 3) utili al calcolo della pressione cinetica e dell'azione statica equivalente.

altezza s.l.m.	[m]	250
Classe di rugosità	[/]	D
Categoria di esposizione	[/]	II
k_r	[/]	0,19
z₀	[m]	0,05
z_{min}	[m]	4
C_t	[/]	1
C_e	[/]	1,8

$C_p(\alpha)$	[/]	$\pm 1,45$
C_d	[/]	1

Tabella 3: parametri di microzonazione eolica.

3.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

L'O.P.C.M. 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" hanno determinato una nuova classificazione sismica del territorio italiano. Per quanto riguarda l'area provinciale di Bari, la nuova situazione è la seguente:

BARI						
	16072034	Poggiorsini	III	III	3	3
	16072035	Polignano a Mare	N. C.	N. C.	4	4
	16072036	Putignano	N. C.	III	3	3
	16072037	Rutigliano	N. C.	III	3	3
	16072038	Ruvo di Puglia	II	III	3	3
	16072039	Sammichele di Bari	N. C.	III	3	3
	16072040	Sannicandro di Bari	N. C.	III	3	3
	16072041	Santeramo in Colle	N. C.	III	3	3
	16072042	Spinazzola	II	III	2	2
	16072043	Terlizzi	III	III	3	3
	16072044	Toritto	N. C.	III	3	3
	16072045	Trani	III	III	3	3
	16072046	Triggiano	N. C.	III	3	3
	16072047	Turi	N. C.	III	3	3
	16072048	Valenzano	N. C.	III	3	3

Dalla tabella si evince che al Comune di Santeramo in Colle è stata attribuita la Categoria 3 ovvero a sismicità bassa. Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	$> 0,25$	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	$< 0,05$	0,05

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0,236 g
F_o	2,428
T_C	0,413 s
S_S	1,170
C_C	1,313
S_T	1,000
q	2,400

Parametri dipendenti

S	1,170
η	0,417
T_B	0,181 s
T_C	0,542 s
T_D	2,546 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,277
$T_B \leftarrow$	0,181	0,280
$T_C \leftarrow$	0,542	0,280
	0,638	0,238
	0,733	0,207
	0,829	0,183
	0,924	0,164
	1,019	0,149
	1,115	0,136
	1,210	0,125
	1,305	0,116
	1,401	0,108
	1,496	0,101
	1,592	0,095
	1,687	0,090
	1,782	0,085
	1,878	0,081
	1,973	0,077
	2,069	0,073
	2,164	0,070
	2,259	0,067
	2,355	0,064
	2,450	0,062
$T_D \leftarrow$	2,546	0,060
	2,615	0,057
	2,684	0,054
	2,753	0,051
	2,823	0,048
	2,892	0,047
	2,961	0,047
	3,030	0,047
	3,100	0,047
	3,169	0,047
	3,238	0,047
	3,307	0,047
	3,377	0,047
	3,446	0,047
	3,515	0,047
	3,584	0,047
	3,654	0,047
	3,723	0,047
	3,792	0,047
	3,861	0,047
	3,931	0,047
	4,000	0,047

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_{qv}	0,155 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,593
S	1,000
η	0,667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,155
$T_B \leftarrow$	0,050	0,251
$T_C \leftarrow$	0,150	0,251
	0,235	0,160
	0,320	0,118
	0,405	0,093
	0,490	0,077
	0,575	0,066
	0,660	0,057
	0,745	0,051
	0,830	0,045
	0,915	0,041
$T_D \leftarrow$	1,000	0,038
	1,094	0,031
	1,188	0,027
	1,281	0,023
	1,375	0,020
	1,469	0,017
	1,563	0,015
	1,656	0,014
	1,750	0,012
	1,844	0,011
	1,938	0,010
	2,031	0,009
	2,125	0,008
	2,219	0,008
	2,313	0,007
	2,406	0,007
	2,500	0,006
	2,594	0,006
	2,688	0,005
	2,781	0,005
	2,875	0,005
	2,969	0,004
	3,063	0,004
	3,156	0,004
	3,250	0,004
	3,344	0,003
	3,438	0,003
	3,531	0,003
	3,625	0,003
	3,719	0,003
	3,813	0,003
	3,906	0,002
	4,000	0,002

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B}\right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

Il comportamento della struttura è stato ipotizzato non dissipativo, pertanto è stato assunto un fattore di comportamento $q=1$. Mentre per quanto riguarda la componente verticale del moto, visti i carichi in gioco trascurabili e la leggerezza della struttura, essa è stata trascurata.

Di seguito (*Tabella 4*) sono riportati i parametri per la determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ per lo Stato Limite di Collasso.

P_{vR}	[%]	5
V_N	[anni]	50
C_u	[/]	0,7
V_R	[anni]	35
A_g/g	[m/s ²]	0,236
F₀	[/]	2,428
T*_C	[/]	0,413
Cat. Sottosuolo	[/]	B
S_s	[/]	1,17
S_T	[/]	1
C_c	[/]	1,313
η	[/]	1
q	[/]	1

Tabella 4: parametri sismici per lo Stato Limite di Collasso.

I periodi di riferimento utili per il tracciamento degli spettri di accelerazione in componente orizzontale sono riportati di seguito (*Tabella 5*). Noti i parametri sismici e conoscendo il periodo proprio della struttura in esame, è possibile calcolare la sollecitazione sismica.

T_b	[s]	0,181
T_c	[s]	0,542
T_d	[s]	2,54

Tabella 5: periodi di riferimento per il tracciamento dello spettro di risposta in termini di accelerazione espresso per la componente orizzontale allo Stato Limite di Collasso (SLC).

4. CARICHI AGENTI

Sulla base della caratterizzazione dell'area di interesse è possibile procedere all'individuazione dei carichi agenti sulla struttura e delle relative combinazioni utili per l'analisi strutturale.

4.1. AZIONE DEL VENTO

In ossequio alla Normativa vigente, per il calcolo del carico impresso dal vento si è proceduto alla determinazione della pressione del vento in relazione ai parametri derivanti dalla zonazione eolica precedentemente riportati.

La pressione del vento p è determinata come segue:

$$p = q_r * c_e * c_p * c_d. [N/m^2]$$

Nella formula precedente con q_r si indica la pressione cinetica di riferimento del vento determinata come:

$$q(z) = \frac{1}{2} * 1,25 * v_r^2 [N/m^2]$$

Per un tempo di ritorno pari a $T_R = 50$ anni e per un'altitudine sul livello del mare del sito $a_s \leq a_0$ ($50 \leq 500$), la velocità di riferimento del vento v_r è pari a $v_{b,0}$, ovvero pari a 27 m/s; pertanto la pressione cinetica di riferimento è pari a $q_r = 455,62 N/m^2$.

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la struttura.

Nello specifico, ad altezza z pari a 2,36 m ($z < z_{min}$) e classe di esposizione del sito pari a II, il coefficiente di esposizione è pari a $c_e = 1,8$.

Il coefficiente di forma c_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della struttura e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Nello specifico, considerando l'inclinazione del pannello oscillante tra $\alpha = +/- 55^\circ$, è stato assunto $c_p = \pm 1,6$.

Infine, il coefficiente dinamico c_d è stato assunto cautelativamente, secondo la norma, pari a 1.

Pertanto la pressione del vento risulta pari a **$p = 1,312 KN/m^2$** .

Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 6).

q_r	[N/m ²]	455,63
c_e	[/]	1,8
c_p	[/]	± 1,6
c_d	[/]	1
p	[kN/m ²]	1,312

Tabella 6: pressione del vento

4.2. CARICO NEVE

Il carico provocato dalla neve sarà valutato mediante la seguente espressione:

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

Il valore di riferimento del carico neve al suolo q_{sk} è calcolato in riferimento alla zonazione imposta dalla normativa vigente (NTC 2018); a tal proposito il sito ricade nella Zona III con $a_s = 260$ m, pertanto il valore di riferimento del carico neve al suolo è pari a:

$$q_{sk} = 0,659 \text{ KN/m}^2 \quad \text{se } a_s > 200 \text{ m}$$

Il coefficiente di esposizione C_E e il coefficiente termico C_T sono stati assunti pari a 1, mentre, per $\alpha = 0^\circ$, il coefficiente di forma μ_i è pari a 0,8.

Pertanto il carico neve risulta pari a **$q_s = 1,05 \text{ KN/m}^2$** .

Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 8).

q_{sk}	[kN/m ²]	0,659
μ	[/]	1,6
C_E	[kN]	1
C_T	[/]	1
q_s	[kN/m ²]	1,05

Tabella 8: carico neve

4.3. AZIONE SISMICA

Sulla base dei dati a disposizione e considerando la tipologia strutturale, assimilabile a quella di un oscillatore ad un grado di libertà, secondo quanto previsto dalle norme vigenti è possibile schematizzare la sollecitazione sismica mediante una sollecitazione statica equivalente F_h .

L'entità della forza F_h è pari a:

$$F_h = S_d(T_1) * W * \lambda g \text{ [kN]}$$

Dove W è il peso complessivo della struttura associato ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + \Psi_{21} Q_{k1}$$

$S_d(T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta allo Stato Limite di Collasso (SLU) per la componente orizzontale corrispondente al periodo T_1 della struttura, quest'ultimo è stimato secondo quanto previsto dalla normativa vigente, nel seguente modo:

$$T_1 = 2 * d^{1/2}$$

Con d spostamento laterale elastico del punto più alto della struttura espresso in metri, dovuto ai carichi gravitazionali W applicati in direzione orizzontale. Il coefficiente λ , secondo quanto previsto dalla normativa, è stato assunto pari ad 1, mentre g è l'accelerazione di gravità.

Dal calcolo risulta un'azione statica equivalente che compete al singolo telaio ($1,30 \times 45 = 54 \text{ m}^2$), pari a **$F_h = 1,05 \text{ kN}$**

Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 7).

W	[kN/m²]	0,23
d	[m]	$9,5 * 10^{-4}$
T₁	[s]	0,091
S_d(T₁)	[m/s²]	1,08
λ	[/]	1
g	[m/s²]	9,81
F_h	[kN]	1,05

Tabella 7: azione sismica

4.4. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA

Il peso proprio della struttura si articola nel seguente modo:

- ✓ Sovrastruttura, ipotizzata essere costituita da correntini e longheroni cavi a sezione rettangolare di dimensioni 50x50 mm ancorati su trave assiale basculante su appositi pilastri a profilo HE100b (o similari), con spessore pari a $t = 5$ mm, da cui risulta un peso proprio pari a $0,09$ KN/m
- ✓ Pannelli fotovoltaici $0,26$ KN / $2,10$ m² = $0,12$ KN/m²

4.5. COMBINAZIONI DI CARICO

In ossequio alla Normativa Vigente, l'analisi strutturale dell'opera è stata eseguita in riferimento al metodo degli Stati Limite. Pertanto, noti i singoli carichi di progetto nel loro valore "caratteristico", si è proceduto alla determinazione di opportune combinazioni.

La combinazione fondamentale generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) è la seguente:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2}$$

La combinazione sismica, invece, valida sia per gli Stati Limite Ultimi che per gli Stati Limite di Esercizio, è la seguente:

$$E + G_1 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2}$$

Dove gli effetti dell'azione sismica E sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + \psi_{21} Q_{k1}$$

Dove per G_1 e Q_k si intendono rispettivamente i carichi permanenti e i carichi variabili, mentre i coefficienti parziali per le azioni γ_F , in riferimento all'approccio 2 della norma, sono quelli riportati nella colonna A1 della Tab. 2.6.I delle NTC 2018, mentre i coefficienti di combinazione ψ_{0j} e ψ_{2j} sono riportati nella Tab. 2.5.I delle stesse norme.

Si considerano le seguenti combinazioni di carico per gli Stati Limite Ultimi:

1. $1,3 G_P + 1,5 Q_N + 0,9 Q_V$
2. $1,3 G_P + 1,5 Q_V + 0,75 Q_N$

3. $1 G_P + 1,5 Q_V$
4. $1,3 G_P + 1,5 Q_N$
5. $E + G_P$

5. ANALISI DELLA STRUTTURA

5.1. RISULTATI ANALISI

La verifica geotecnica più gravosa per questa tipologia di fondazione è quella relativa al **collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione**.

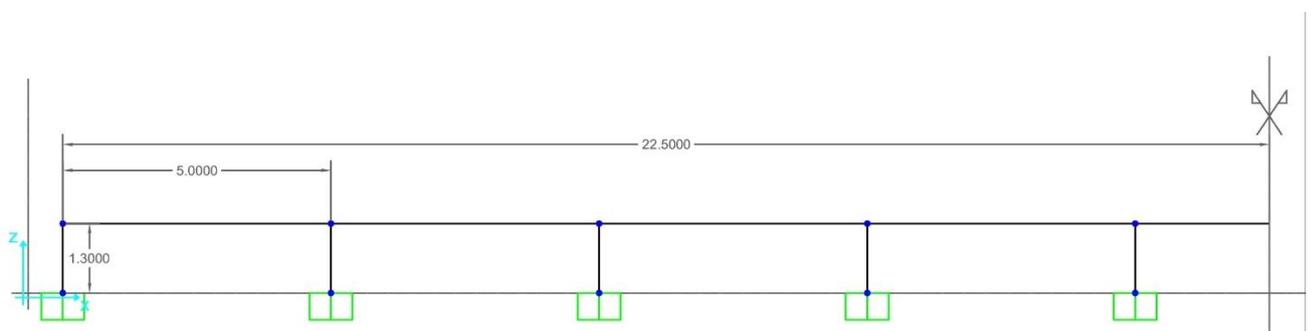
Pertanto, si è proceduto al calcolo delle massime sollecitazioni di sfilamento, le quali sono state confrontate con la portanza limite laterale del palo, trascurando il peso proprio dello stesso.

Alla luce di tale considerazione, la combinazione di carico critica risulta essere la n. 3, ovvero quella in cui si considerano:

- vento sfavorevole in direzione ortogonale ai pannelli fotovoltaici ($\gamma_Q = 1,5$);
- carico neve favorevole e quindi nullo ($\gamma_Q = 0$);
- peso proprio della struttura favorevole ($\gamma_G = 1$);

Per il calcolo delle massime sollecitazioni di trazione agenti alla base della struttura, quest'ultima è stata ipotizzata essere costituita da profili cavi a sezione rettangolare di dimensioni 100x60 mm con spessore pari a $t = 3$ mm.

Considerando la superficie dei moduli che compete ad un singolo telaio ($1,30 \times 45 = 54 \text{ m}^2$) e l'inclinazione dello stesso di $\pm 55^\circ$, la massima sollecitazione di sfilamento calcolata è pari a circa $T_{sd} = 3,7 \text{ kN}$.



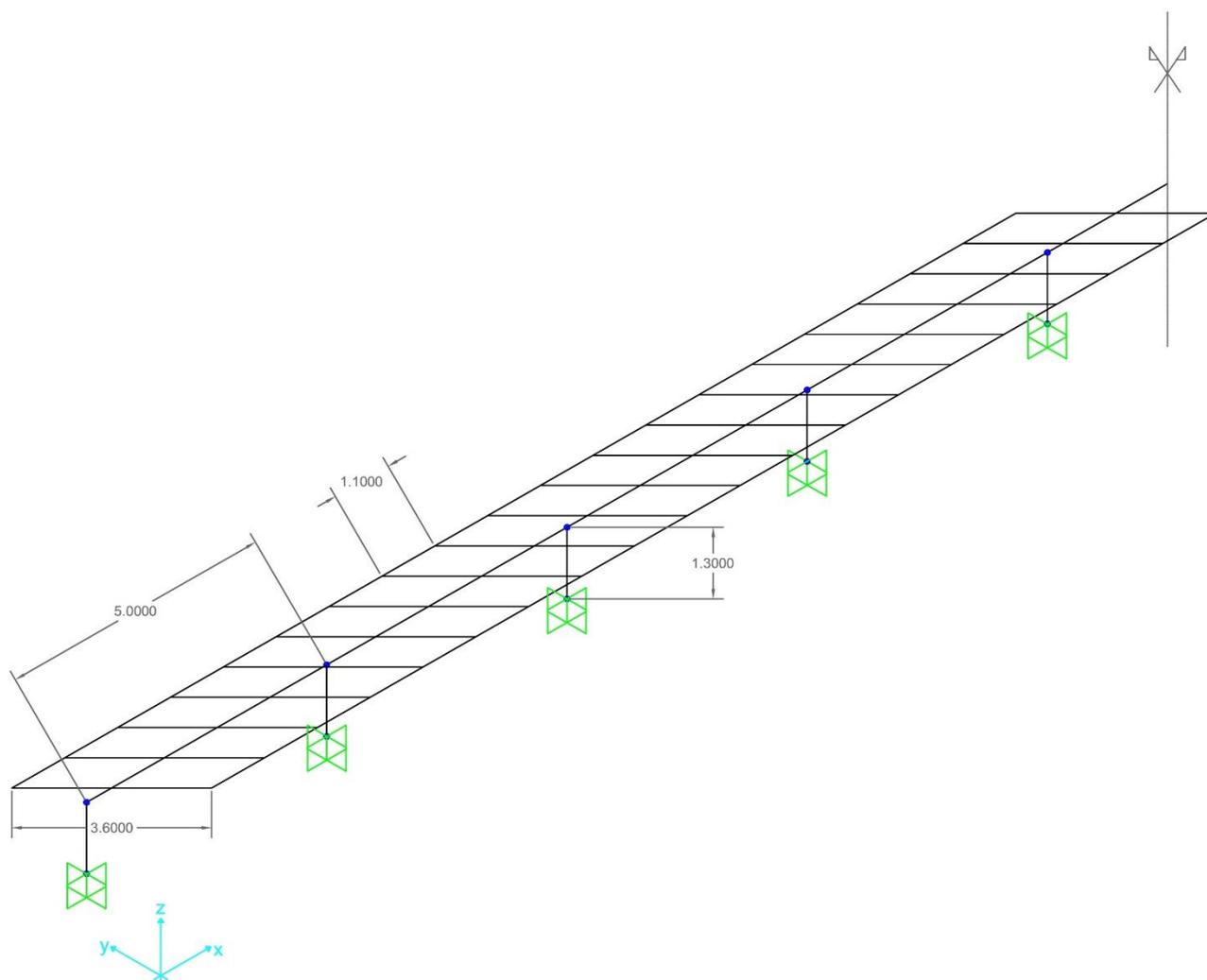


Figura 1: schema di calcolo per l'interazione pali telaio.

5.2. CALCOLO PORTANZA LATERALE DEL PALO

Per il calcolo della portanza limite laterale del palo si procede attraverso *l'approccio 2 delle NTC 2018* con la combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali (γ_M e γ_R) e dei fattori di correlazione (ξ) riportati nelle tabelle 6.2.II, 6.4.II e 6.4.IV delle stesse norme.

La portanza limite laterale di progetto del palo R_{sd} è ottenuta applicando il coefficiente parziale γ_{st} al valore caratteristico R_{sk} , quest'ultimo determinato attraverso la seguente espressione:

$$R_{s,k} = \min \{ (R_{s,cal})_{media} / \xi_3; (R_{s,cal})_{minima} / \xi_4 \}$$

La resistenza di calcolo $R_{s,cal}$ è stata calcolata attraverso metodi analitici, dove ogni valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno è stato diviso per il coefficiente parziale γ_M riportato nella colonna M1 della tabella 6.2.II delle norme tecniche vigenti.

Il fattore di correlazione ξ , invece, dipende dal numero di verticali indagate; nel caso specifico è stata effettuata una sola indagine, pertanto secondo la tabella 6.4.IV della normativa vigente, il valore di ξ_4 sarà pari a 1,70.

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti parziali utilizzati nel calcolo in riferimento all'approccio 2 della normativa tecnica (Tabella 9).

Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M / γ_R	
$\tan\phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1
c'_k	$\gamma_{c'}$	1
c'_{uk}	γ_{cu}	1
γ_Y	γ_Y	1
R_{sd}	γ_{st}	1,25

Tabella 9: coefficienti parziali adottati

La resistenza laterale a trazione $R_{s,cal}$ sarà pari alla seguente espressione:

$$R_{s,cal} = A_L * s$$

Con s , sforzi di taglio che si generano in corrispondenza dell'interfaccia palo-terreno in condizioni di lungo termine, pari a:

$$s = K_o * \sigma'_{v0} * \mu$$

Con K coefficiente di spinta, assunto per pali battuti pari al coefficiente di spinta passiva $K_p = 1,60$. Il coefficiente d'attrito palo-terreno μ è stato assunto pari a $\tan \delta$, mentre σ'_{v0} è la tensione verticale efficace nella mezzeria.

Le verifiche agli Stati Limite risultano soddisfatte se:

$$R_{sd} > T_{sd}$$

Pertanto, la lunghezza minima di inserimento del palo è la seguente:

$$h_{min} = (2 * T_{sd} * \xi_4 * \gamma_{st} / \pi * d * \gamma * K_p * \mu)^{1/2} = \mathbf{2,293 \text{ m}}$$

Di seguito si riporta il calcolo in maniera tabellare (Tabella 8).

T_{sd}	[kN]	3,7
ξ_4	[/]	1,7
γ_{st}	[/]	1,25
d	[m]	0,15
γ	[kN/m ³]	14,80
K_p	[/]	1,60
μ	[/]	$\tan \delta$
h_{min}	[m]	2,293

Tabella 11: altezza palo

Cautelativamente si è moltiplicata la lunghezza minima di inserimento h_{min} per un coefficiente pari a 1,3, pertanto la lunghezza di infissione del palo sarà assunta pari a $h_p = \mathbf{3,00 \text{ m}}$

5.3. CONCLUSIONI

Nella presente relazione di calcolo sono state riportati gli studi di pre-dimensionamento delle opere di ancoraggio al suolo per pannelli fotovoltaici. Lo studio è stato condotto in ossequio alla vigente Normativa Tecnica (NTC 2018) aggiornata alle recenti Circolari Applicative, tenendo in conto dei parametri geotecnici, di zonazione eolica e sismici derivanti da dette Norme.

Sulla base di quanto detto i risultati ottenuti sono tali da assicurare la capacità delle fondazioni di sopportare le sollecitazioni derivanti dalle azioni statiche e dinamiche agenti sulla struttura.

Tale indagine, ora condotta, dovrà essere verificata in fase di progetto esecutivo e a valle di indagini penetrometriche di dettaglio oltre che con l'individuazione dei profili metallici da usare per le infissioni.

Il tecnico
Arch. Marco Chiappa