

Levant Wind S.r.l.

**Parco Eolico "Levant" sito nei comuni di:
Buseto Palizzolo, Erice e Valderice**

Relazione di calcolo preliminare sulle strutture

Giugno 2022



Committente:

Levant Wind S.r.l.

Levant Wind S.r.l.
Via Sardegna, 40
00187 Roma
P.IVA/C.F. 1618113100

Titolo del Progetto:

Parco Eolico "Levant" sito nei Comuni di: Busetto Palizzolo, Erice e Valderice

Documento:

**Relazione di calcolo preliminare
sulle strutture**

N° Documento:

IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01

Progettista:



sede legale e operativa
San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale
sede operativa
Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114
P.IVA 01465940623
Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista
Dott. Ing. Nicola FORTE



Consulente per la progettazione
Dott. Ing. Gaetano PUPPELLA
Dott. Ing. Salvatore PRIOLO

Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Giugno 2022	Richiesta AU	SC	FB	NF

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 0 di 20
---	---	---	--

INDICE

1	PREMESSA	1
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3	DESCRIZIONE OPERE	3
3.1	PLINTO DI FONDAZIONE	3
3.2	CABINA DI RACCOLTA	4
4	MATERIALI IMPIEGATI	5
5	ANALISI DEI CARICHI	7
6	AZIONI SULLE STRUTTURE	7
6.1	CARICHI TORRE	7
6.2	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI	8
7	DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI	9
8	MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI	10
9	CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO	11
10	PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	13
10.1	VERIFICHE STRUTTURALI ELEMENTI IN C.A.	13
11	CALCOLO DELLE FONDAZIONI PROFONDE	15
11.1	ANALISI DEI PALI	16
11.2	CAPACITÀ PORTANTE DI PUNTA	17
11.3	CAPACITÀ PORTANTE PER RESISTENZA LATERALE	17
12	VERIFICHE GEOTECNICHE	18
13	CONCLUSIONI	19

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI <small>SRL</small>	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 1 di 20
--	---	---	--

1 PREMESSA

Il progetto descritto nella presente relazione riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da undici aerogeneratori della potenza unitaria di 6,00 MW modello Vestas-V162, per una potenza complessiva di impianto pari a 66,00 MW. L'installazione insisterà nei comuni di Buseto Palizzolo (TP), Erice (TP) e Valderice (TP) alle località "Menta", "Carrubazza", "Timpone Tangi", con opere di connessione ricadenti sugli stessi territori comunali.

Proponente dell'iniziativa è la società LEVANT WIND s.r.l. con sede in Via Sardegna 40, 00187 Roma (RM) Catastalmente l'area dove sono previsti gli aerogeneratori si inquadra tra i fogli nn. 280-298-300 del comune di Erice, nn. 19-20-21 del comune di Buseto Palizzolo, nn. 63-64-65-66-67-68 del comune di Valderice.

Gli aerogeneratori sono collegati tra di loro mediante un cavidotto in alta tensione interrato a 36 kV (detto "cavidotto interno").

L'energia erogata dall'impianto arriva, grazie al cavidotto interno alla cabina di raccolta sita sul territorio del comune di Erice. Dalla cabina di raccolta l'energia viene trasportata con cavo interrato a 36 kV (detto "cavidotto esterno") fino alla nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione a 150/36 kV della RTN prevista sul foglio 42 del comune di Buseto Palizzolo e da inserire in doppio entra- esce alle due linee RTN 150 kV "Buseto Palizzolo - Fulgatore" e "Buseto Palizzolo – Castellammare Golfo" previa la realizzazione di opere di rete. La presente relazione descrive le opere strutturali previste per il progetto dell'impianto eolico.

Le opere previste per la realizzazione del suddetto impianto consistono in:

- Fondazioni degli aerogeneratori;
- Cabina di raccolta;

Nei paragrafi successivi la descrizione delle opere.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 2 di 20
---	---	---	--

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative:

NORMATIVA NAZIONALE

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

“Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni”.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 – Suppl. Ord.)

“Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018”.

NORMATIVA INTERNAZIONALE

UNI 9858 “Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria.

UNI ENV 1992-1-1 del 31-01-1993 Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	3 di 20

3 DESCRIZIONE OPERE

3.1 Plinto di fondazione

Per ciascuno degli aerogeneratori, si prevedono plinti di forma geometrica divisibile in tre solidi di cui il primo è un cilindro (corpo 1) con un diametro di **25.00m** e un'altezza di **0.75m**, il secondo (corpo 2) è un tronco di cono con diametro di base pari a **25.00m**, diametro superiore di **7.20m** e un'altezza pari a **1.75m**; il terzo corpo (corpo 3) è un cilindro con un diametro di **7.20m** e un'altezza di **1.00m**; infine nella parte centrale del plinto, in corrispondenza della gabbia tirafondi, si individua un tronco di cono con diametro di base pari a **6.6m**, diametro superiore pari a **6.00m** e altezza pari a **0.30m**.

Di seguito si riporta una sezione della fondazione e una tabella con le caratteristiche dimensionali.

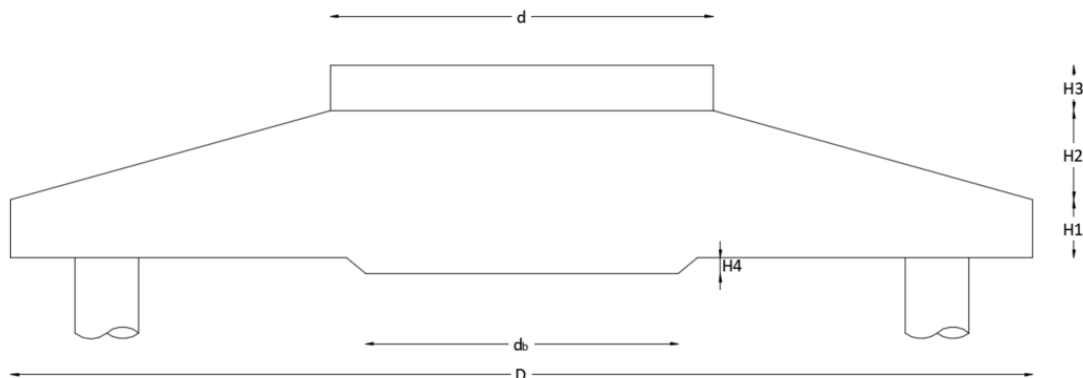


Figura 1 - geometria plinto

SIMBOLO	DIM	U.M.
D	25,00	m
d	7,20	m
d_b	6,00	m
H1	0,75	m
H2	1,75	m
H3	1,00	m
H4	0,30	m
H_{tot}	3,50	m
Volume plinto	809	m ³
N°pali	20	-
D_{pali}	1,20	m
L_{pali}	35	m
Volume pali	791	m ³

Viste le caratteristiche geologiche del terreno ad ora disponibili e gli enti sollecitanti, le fondazioni di ciascun aerogeneratore sono del tipo indiretto; nello specifico si prevedono **20 pali di diametro di 1.20 m** e lunghezza di **35 m**.

Si rimanda in ogni caso al progetto esecutivo per maggiori dettagli sulla geometria, le dimensioni del plinto e l'ottimizzazione delle caratteristiche dei pali per ogni torre.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 4 di 20
---	---	---	--

3.2 Cabina di raccolta

La cabina di raccolta presenta le dimensioni planimetriche di 14,00 x 4,10 per un'altezza fuori terra del corpo di fabbrica pari a 4,10 m e un piano interrato di 4,10 m. La soluzione di progetto verrà approfondita durante la fase esecutiva. Allo stato attuale della progettazione si prevede che la struttura della cabina possa essere realizzata nelle seguenti modalità:

- Tipologia prefabbricata con struttura monolitica in calcestruzzo armato vibrato autoportante completa di porte di accesso, infissi e griglie di aerazione.
- Tipologia gettata in opera con struttura a travi e pilastri.

Per i riferimenti grafici si rimanda all'elaborato di progetto IT-VESLVT-TEN-ELE-DW-03 "Particolare Edifici".

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	5 di 20

4 MATERIALI IMPIEGATI

Le prestazioni della struttura e le condizioni per la sua sicurezza sono state individuate comunemente dal progettista e dal committente, particolare attenzione è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere adeguatamente realizzate solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera.

Per quanto riguarda la durabilità si sono presi tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture, in considerazione dell'ambiente in cui l'opera dovrà vivere e dei cicli di carico a cui sarà sottoposta. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Tutti i materiali strutturali impiegati devono essere muniti di marcatura "CE", ed essere conformi alle prescrizioni del "REGOLAMENTO (UE) N. 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 9 marzo 2011", in merito ai prodotti da costruzione.

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

Tabella 1 - Caratteristiche calcestruzzo armato

N _{id}	γ _k [N/m ³]	α _{T, i} [1/°C]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	C _{Erid} [%]	Stz	R _{ck} [N/mm ²]	R _{cm} [N/mm ²]	%R _{ck}	γ _c	f _{cd} [N/mm ²]	f _{ctd} [N/mm ²]	f _{cfm} [N/mm ²]	n	n Ac
Cls C32/40															
002	25,000	0.000010	33,346	13,894	60	P	40.00	-	0.85	1.50	18.81	1.41	3.63	15	003
Cls C45/55															
003	25,000	0.000010	36,283	15,118	60	P	55.00	-	0.85	1.50	25.87	1.65	4.44	15	003
Cls C25/30															
004	25,000	0.000010	31,447	13,103	60	P	30.00	-	0.85	1.50	14.11	1.19	3.07	15	003

LEGENDA:

N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
α_{T, i}	Coefficiente di dilatazione termica.
E	Modulo elastico normale.
G	Modulo elastico tangenziale.
C_{Erid}	Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [E _{sisma} = E · C _{Erid}].
Stz	Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
R_{ck}	Resistenza caratteristica cubica.
R_{cm}	Resistenza media cubica.
%R_{ck}	Percentuale di riduzione della R _{ck}
γ_c	Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione.
f_{ctd}	Resistenza di calcolo a trazione.
f_{cfm}	Resistenza media a trazione per flessione.
n Ac	Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale.

Tabella 2 - Caratteristiche acciaio

N _{id}	γ _k [N/m ³]	α _{T, i} [1/°C]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	Stz	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{tk,1} / f _{tk,2}	f _{yd,1} / f _{yd,2}	f _{td} [N/mm ²]	γ _s	γ _{M1}	γ _{M2}	γ _{M3,SLV}	γ _{M3,SLE}	γ _{M7} NCnt	Cnt
Acciaio B450C - (B450C)																
005	78 500	0,000010	210.00	80 769	P	450,00	-	391,30	-	1,15	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
α_{T, i}	Coefficiente di dilatazione termica.

Ten Project

Sede legale ed operativa: Loc. Chianarile zona industriale - 82010 San Martino Sannita (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

 TENPROJECT 	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 6 di 20
--	---	---	--

- E** Modulo elastico normale.
G Modulo elastico tangenziale.
Stz Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
f_{tk,1} Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t ≤ 40 mm).
f_{tk,2} Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
f_{td} Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
γ_s Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
γ_{M1} Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
γ_{M2} Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
γ_{M3,SLV} Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
γ_{M3,SLE} Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
γ_{M7} Coefficiente parziale di sicurezza precarico di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
f_{yk,1} Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con t ≤ 40 mm).
f_{yk,2} Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
f_{yd,1} Resistenza di calcolo (per profili con t ≤ 40 mm).
f_{yd,2} Resistenza di calcolo (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
NOTE [-] = Parametro non significativo per il materiale.

I diagrammi costitutivi degli elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.1 del D.M. 2018:

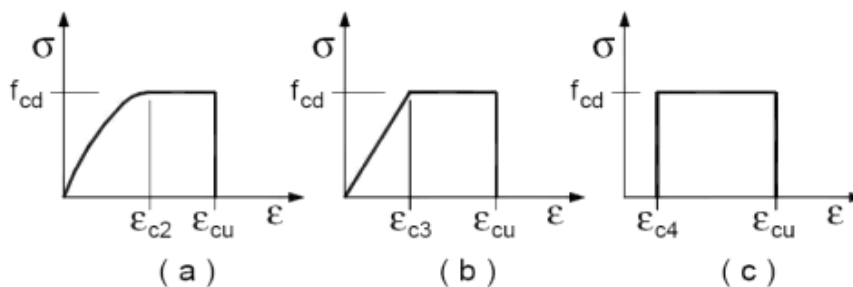


Figura 2 - Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

I valori di deformazione assunti sono:

$$e_{c2} = 0,0020;$$

$$e_{cu2} = 0,0035.$$

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.2 del D.M. 2018; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in figura sottostante.

La resistenza di calcolo è data da f_{yk}/γ_f . Il coefficiente di sicurezza γ_f si assume pari a 1,15.

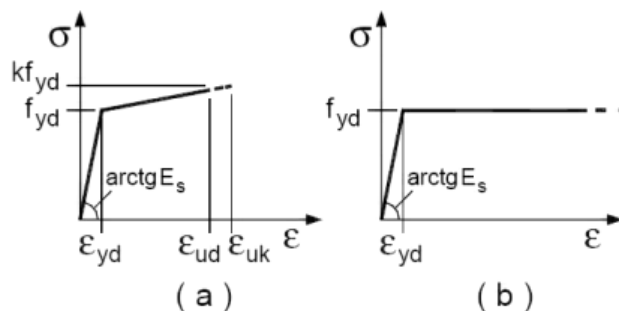


Figura 3 - Diagrammi di calcolo tensione/deformazione acciaio

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	7 di 20

5 ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dei carichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del punto 3.1 del D.M. 2018. In particolare, è stato fatto utile riferimento alle Tabelle 3.1.I del D.M. 2018, per i pesi propri dei materiali.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

6 AZIONI SULLE STRUTTURE

Le azioni sulla struttura in esame sono valutate in accordo al capitolo 3 del D.M. 2018. In particolare sono presenti:

- Carichi torre;
- Carichi permanenti strutturali e non strutturali;

Le azioni così ottenute sono opportunamente combinate tra loro in base alle combinazioni di carico indicate dalla norma di riferimento e riportate in dettaglio al §9 della presente. Da queste si ottengono i valori di progetto delle sollecitazioni da impiegare successivamente nelle verifiche. I calcoli e le verifiche sono condotti con il metodo semiprobabilistico degli stati limite secondo le indicazioni del D.M. 2018.

6.1 Carichi torre

I carichi standard agenti sul plinto dovuti alla sovrastruttura:

Tabella 3 - Characteristic Snow Loads. No partial safety factors are applied. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

Snow Loads					
F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
0	0	-319,43	0	0	0

Tabella 4 - Resulting Characteristic Extreme Wind Loads. No partial safety factors are applied. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

Characteristic Extreme Wind Loads			
M _{res}	M _z	F _{res}	F _z
[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
154553	4903	1585	-6622

Tabella 5 - S.L.O. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.O. Seismic Loads					
F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
23,17	77,24	-6825,07	-8283,57	2485,07	2,55

Tabella 6 - S.L.D. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.D. Seismic Loads					
F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
32,24	107,45	-6825,07	-11522,99	3456,90	3,55

Tabella 7 - S.L.V. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.V. Seismic Loads					
F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
76,54	255,13	-6825,07	-27360,09	8208,03	8,43

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	8 di 20

Tabella 8 - S.L.C. Characteristic Seismic Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

S.L.C. Seismic Loads					
F_x [kN]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
86,39	287,95	-6825,07	-30879,39	9263,82	9,51

Tabella 9 - Characteristic Extreme Loads. PLF must be applied acc. to D.M. 17-01-2018

Characteristic Extreme					
LC/Family	PLF	Mbt	Mzt	FndFr	Fzt
[-]	[-]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
62E50b05000(fam344)	1,10	149300	3378	1297	-6622
98NTM1800(fam352)	1,35	157600	4903	1284	-6791

6.2 Carichi permanenti strutturali

Il peso proprio degli elementi strutturali in acciaio e in c.a. è stato portato in considerazione automaticamente dal programma di calcolo nella modellazione geometrica della struttura, le azioni permanenti gravitazionali associate ai pesi propri dei materiali strutturali sono derivate dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali con cui sono realizzate le parti strutturali della costruzione.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 9 di 20
---	---	---	--

7 DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI

Le azioni sulla costruzione sono state combinate 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.

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

Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara) SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente SLE

$$G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$E + G_{1k} + G_{2k} + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Le verifiche strutturali e geotecniche sono state effettuate in conformità agli approcci previsti dal D.M.2018 applicando gli opportuni coefficienti richiesti dalle specifiche verifiche.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 10 di 20
---	---	---	---

8 MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI

Per il progetto e la verifica dei plinti si è utilizzato un programma di calcolo agli elementi finiti. Il plinto di fondazione è stato modellato utilizzando elementi shell.

Il modello è caratterizzato dai seguenti parametri:

Sistema di riferimento	Cilindrico
Coordinate sistema di riferimento	Centro geometrico del plinto
Materiale utilizzato	Conc (calcestruzzo)
Carichi applicati	puntuale (Forze e Momenti) superficiale (Peso terreno di ricoprimento) di volume (Peso proprio plinto)

Si riporta di seguito una schematizzazione in conci del plinto.

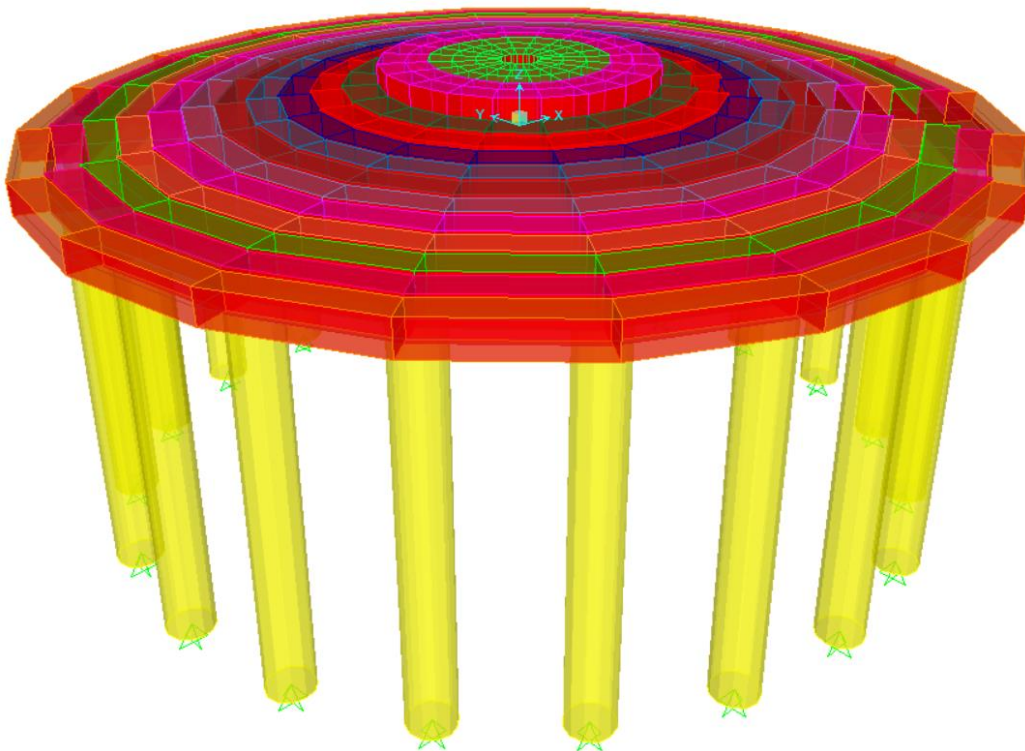


Figura 4 - schematizzazione plinto

La modellazione del materiale degli elementi in c.a. segue la classica teoria dell'elasticità lineare; per cui il materiale è caratterizzato oltre che dal peso specifico, da un modulo elastico (E) e un modulo tagliante (G). La possibile fessurazione degli elementi in c.a. è stata tenuta in conto nel modello considerando un opportuno decremento del modulo di elasticità e del modulo di taglio, nei limiti di quanto previsto dalla normativa vigente per ciascuno stato limite. Gli elementi di **fondazione** sono modellati assumendo un comportamento elastico-lineare sia a trazione che a compressione.

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 11 di 20
---	---	---	---

9 CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO

Oggetto del presente paragrafo è sia la verifica dell'affidabilità del codice di calcolo utilizzato che l'attendibilità dei risultati ottenuti ai sensi del Cap 10 par 10.2 D.M. 17/01/2018.

Tipo di Analisi svolta ed Origine e Caratteristiche del Codice di calcolo

Il software consente di modellare la struttura, di effettuare il dimensionamento e le verifiche di tutti gli elementi strutturali.

È una procedura integrata dotata di tutte le funzionalità necessarie per consentire il calcolo completo di una struttura mediante il metodo degli elementi finiti (FEM); la modellazione della struttura è realizzata tramite elementi Beam (travi e pilastri) e Shell (platee, pareti, solette).

L'utente non può modificare il codice ma soltanto eseguire delle scelte come:

- definire i vincoli di estremità per ciascuna asta (vincoli interni) e gli eventuali vincoli nei nodi (vincoli esterni);
- modificare i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica;
- definire condizioni di carico;
- definire gli impalcati come rigidi o meno.

Il sistema di riferimento globale, rispetto al quale va riferita l'intera struttura, è costituito da una terna di assi cartesiani levogira OXYZ (X, Y e Z sono disposti e orientati rispettivamente secondo il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, una volta posizionati questi ultimi a 90° tra loro).

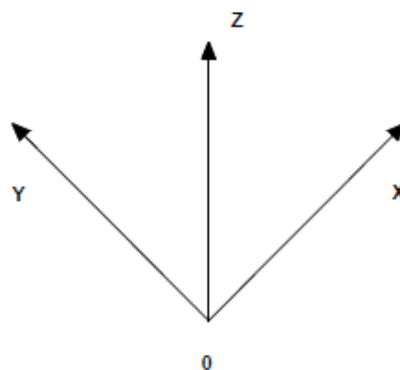


Figura 5 - sistema di riferimento

Un elemento Shell è caratterizzato da un sistema di riferimento locale 1-2-3 da cui derivano le sollecitazioni così come individuato nelle figure seguenti:

 <p>TENPROJECT INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}</p>	<p>RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE</p>	<p>Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina</p>	<p>IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 12 di 20</p>
--	--	--	--

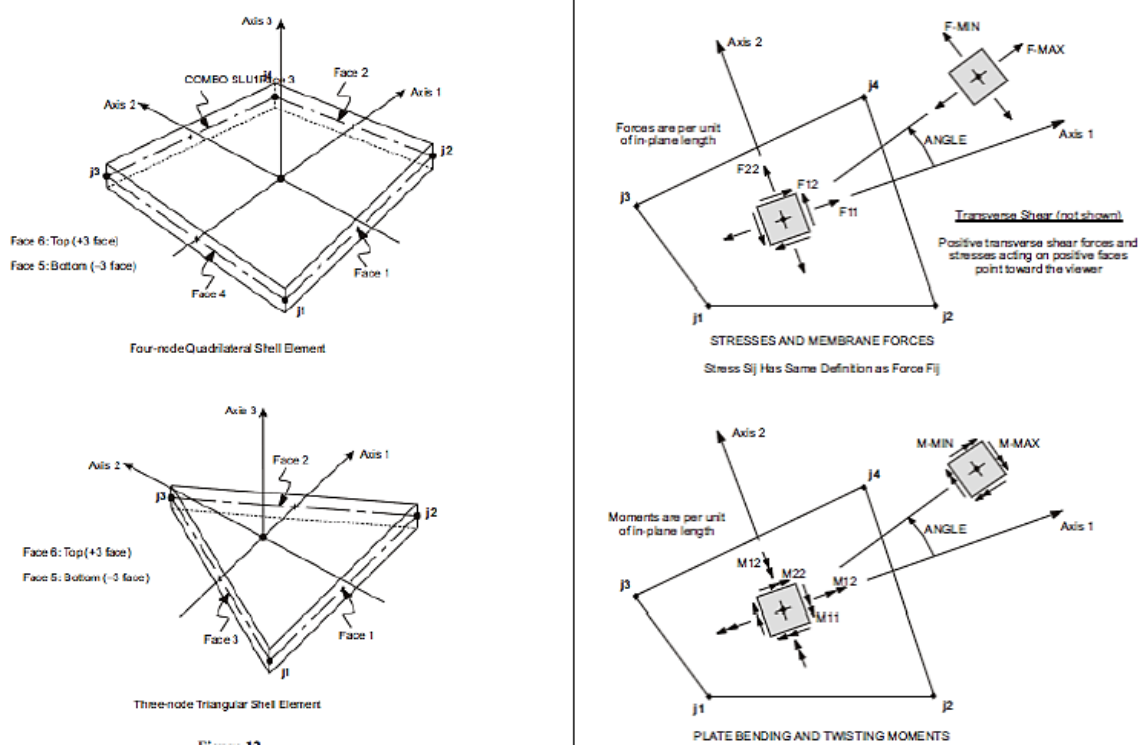


Figura 6 - Sistema di riferimento elemento shell e sollecitazioni elemento shell

Affidabilità dei Codici utilizzati e Validazione dei codici

L'affidabilità del codice utilizzato è stato validato dall'analisi della documentazione fornita dal produttore che, oltre a contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, include l'individuazione dei campi d'impiego nonché casi prova interamente risolti e commentati.

Modalità di presentazione dei risultati

La quantità di informazioni che usualmente accompagna l'utilizzo di procedure di calcolo automatico richiede un'attenzione particolare alle modalità di presentazione dei risultati, in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per la tipologia di analisi sviluppata già menzionata in precedenza.

I software licenziati sono il SAP2000 **versione 23 con numero di licenza 17134 intestata a Ten Project srl.**

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI SRL	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 13 di 20
---	---	---	---

10 PROGETTO E VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica degli elementi allo SLU – SLV avviene col seguente procedimento:

- si costruiscono le combinazioni non sismiche in base al D.M. 2018, ottenendo un insieme di sollecitazioni;
- si costruiscono le combinazioni sismiche in base al D.M. 2018 secondo quanto indicato nel §2.5.3, relazione (2.5.5) del D.M. 2018, ottenendo un ulteriore insieme di sollecitazioni;
- per sollecitazioni semplici (flessione retta, taglio, etc.) si individuano i valori minimo e massimo, tra tutte le combinazioni, con cui progettare o verificare l'elemento considerato; per sollecitazioni composte (pressoflessione retta/deviata) vengono eseguite le verifiche per tutte le possibili combinazioni e solo a seguito di ciò si individua quella che ha originato il minimo coefficiente di sicurezza.

10.1 Verifiche strutturali elementi in C.A.

La progettazione delle strutture è avvenuta in modo da soddisfare le verifiche richieste per gli SLU (statici e sismici) e per gli SLE (statici e sismici) mediante l'ausilio del codice di calcolo. Le verifiche condotte sulle sezioni sono sotto riportate:

Verifiche SLU - SLV

- Flessione: in accordo con § 4.1.2.3.4.2 del D.M. 17/01/2018
- Verifica a taglio: in accordo con § 4.1.2.3.5 del D.M. 17/01/2018

Di seguito una rappresentazione grafica dei risultati maggiormente significativi:

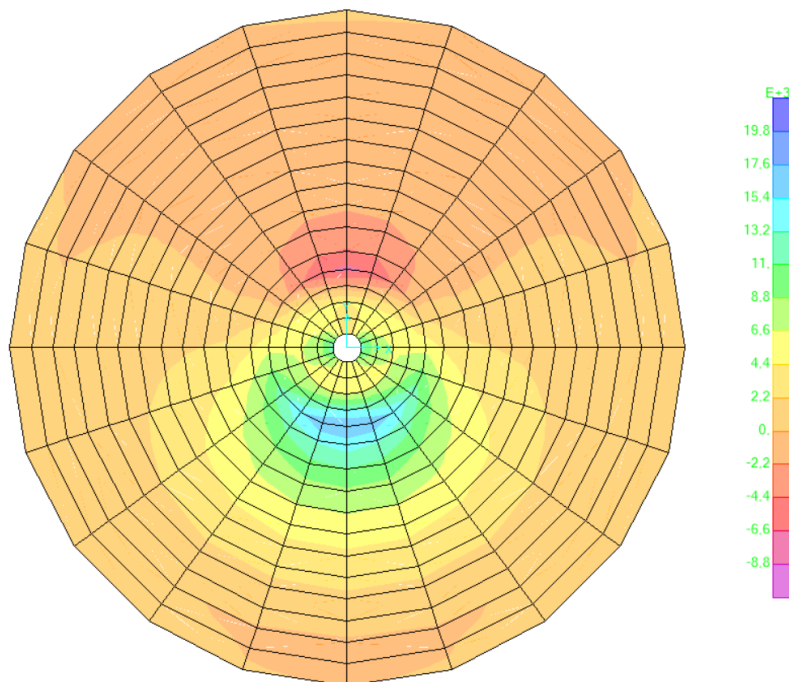


Figura 7 – sollecitazione – flessione M11 radiali

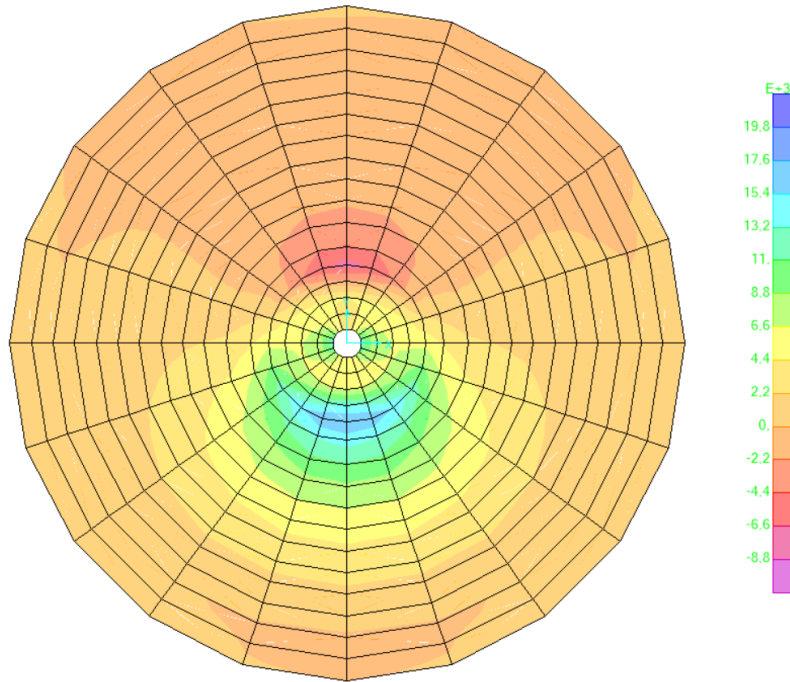


Figura 8 – sollecitazione – flessione M22 anulari

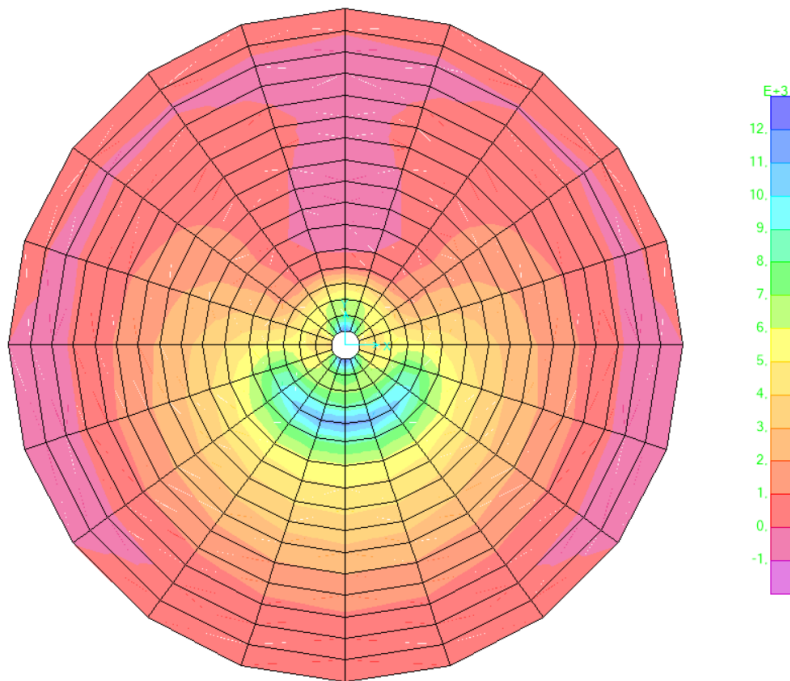


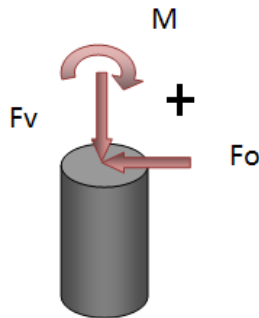
Figura 9 – sollecitazione – taglio massimo

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	15 di 20

11 CALCOLO DELLE FONDAZIONI PROFONDE

Le verifiche sono state sviluppate considerando solo gli SLU di tipo geotecnico che si attingono in seguito al raggiungimento del carico limite del palo. Al riguardo si deve osservare che per la geometria e le caratteristiche strutturali della fondazione (plinto circolare ad elevata rigidezza come riportato nella relazione tecnica di calcolo strutturale) e per la posizione dei pali (distribuiti lungo una circonferenza a ridosso del bordo esterno del plinto) si esclude la verifica a stabilità globale.

Per quanto riguarda il segno dei carichi esso adotta la seguente convenzione:



Convenzione positiva dei carichi

Nel dettaglio le verifiche agli SLU sono state sviluppate secondo gli approcci indicati dalla normativa **Ai+Mi+Ri** dove con A_i sono indicati i fattori di combinazione dei carichi, con M_i quelli riduttivi dei parametri caratteristici del terreno e R_i quelli di riduzione della resistenza caratteristica. I coefficienti di sicurezza da applicare alle azioni sono riportati nella tabella 6.2.I del cap.6 (progettazione geotecnica) della norma, i coefficienti di sicurezza da applicare ai parametri geotecnici del terreno sono riportati nella tabella 6.2.II e sono unitari. I coefficienti di sicurezza da applicare alle resistenze sono maggiori dell'unità e sono riportati nella tabella 6.4.II. La resistenza caratteristica R_k del palo singolo può essere dedotta da metodi di calcolo analitici, dove R_k è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, oppure con l'impiego di relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (prove penetrometriche, pressiometriche, ecc.); il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ ($R_{t,cal}$) i fattori di correlazione ξ riportati di seguito (Tab. 6.4.IV NTC 18) in funzione del numero n di verticali di indagine

$$R_{c,k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \eta$$

$$R_{t,k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \eta$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	16 di 20

Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione, il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei coefficienti ξ deve corrispondere al numero di verticali lungo le quali la singola indagine sia stata spinta ad una profondità superiore alla lunghezza dei pali, in grado di consentire una completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R della Tab. 6.4.II della norma riportata di seguito.

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Per i carichi trasversali si adottano i seguenti coefficienti:

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_t = 1,0$	$\gamma_t = 1,6$	$\gamma_t = 1,3$

11.1 Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito ϕ e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_T = Q_P + Q_L - W_P$$

dove:

Q_T portanza totale del palo

Q_P portanza di base del palo

Q_L portanza per attrito laterale del palo

W_P peso proprio del palo

e le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_A = Q_P / \eta_p + Q_L / \eta_l - W_P$$

Palo teso:

$$Q_A = Q_L / \eta_l + W_P$$

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01 05/07/2022 18/07/2022 00 17 di 20
---	---	---	---

11.2 Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_P = A_P(cN'_c + qN'_q)$$

dove A_P è l'area portante efficace della punta del palo, c è la coesione, q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo, γ è il peso di volume del terreno, D è il diametro del palo ed i coefficienti N'_c N'_q sono i coefficienti delle formule della capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità. Sono stati utilizzati i coefficienti di Hansen con i corrispondenti fattori correttivi per la profondità e la forma.

Il parametro η che compare nell'espressione assume il valore:

$$\eta = \frac{1 + 2K_0}{3}$$

quando si usa la formula di Vesic e viene posto uguale ad 1 per le altre formule.

K_0 rappresenta il coefficiente di spinta a riposo che può essere espresso come: $K_0 = 1 - \sin\phi$.

11.3 Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan\delta$$

dove c_a è l'adesione palo-terreno, δ è l'angolo di attrito palo-terreno, γ è il peso di volume del terreno, z è la generica quota a partire dalla testa del palo, L e P sono rispettivamente la lunghezza ed il perimetro del palo, K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

12 VERIFICHE GEOTECNICHE

Per le varie tipologie di fondazioni sono di seguito riportati i risultati sotto forma di grafici sintetici o tabelle.

Di seguito i risultati maggiormente significativi:

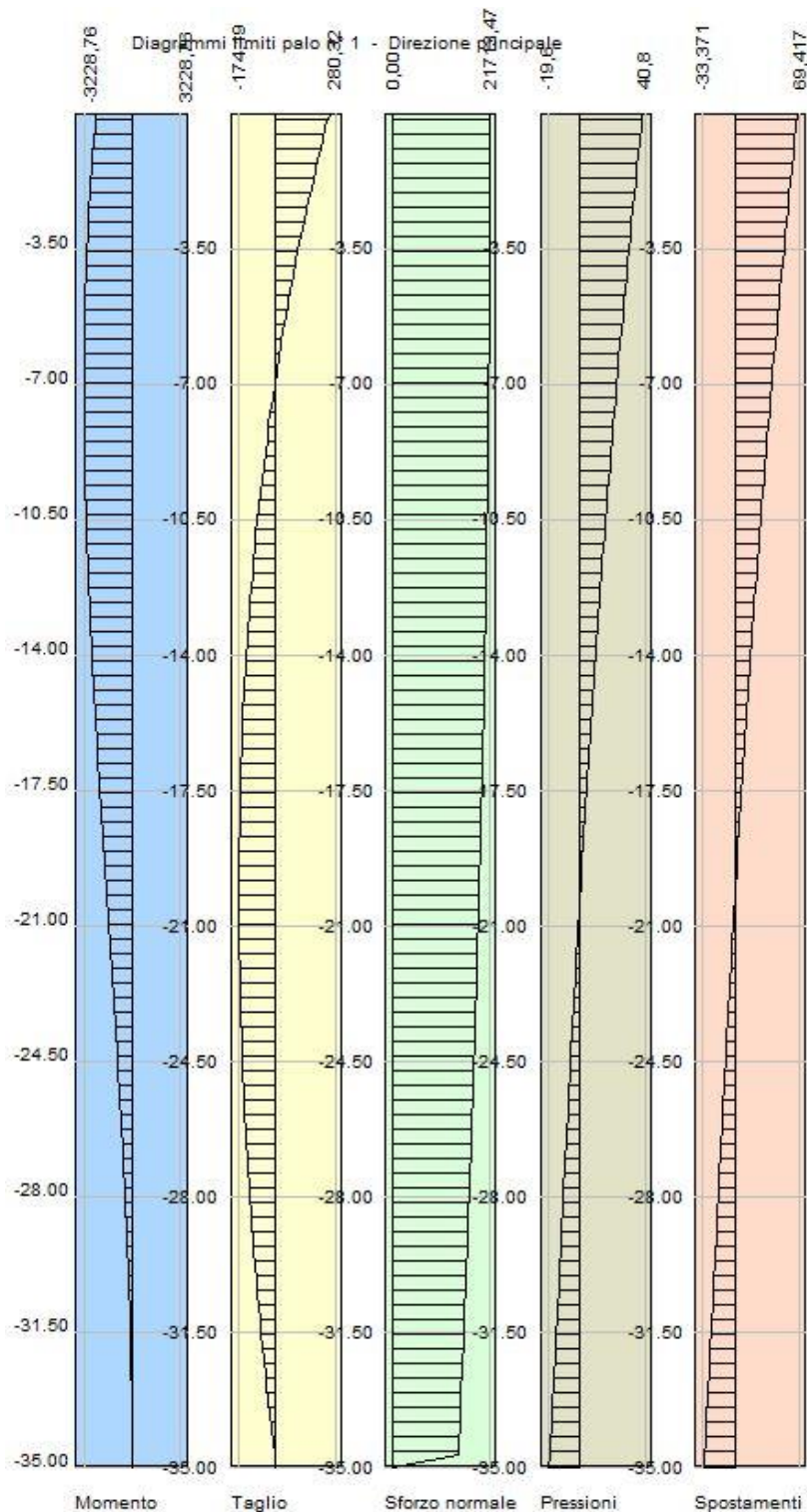


Figura 10 - sollecitazioni massime palo condizione drenata

 TENPROJECT  INGEGNERIA PROGETTI^{SRL}	RELAZIONE DI CALCOLO PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Codice	IT-VESLVT-TEN-CAL-TR-01
		Data creazione	05/07/2022
		Data ultima modif.	18/07/2022
		Revisione	00
		Pagina	19 di 20

Tabella 10 - carico limite pali condizione drenata

N	Pd	FS_v	T	Td	FS_o
<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>		<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>	
4767,99	9040,95	1.896 (8)	203,98	295,79	1.450 (106)

Simbologia adottata

- N Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kN]
- Pd Portanza di progetto, espresso in [kN]
- FS_v Fattore di sicurezza (Pd/N). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.
- T Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kN]
- Td Portanza trasversale di progetto, espresso in [kN]
- FS_o Fattore di sicurezza (Vd/V). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

13 CONCLUSIONI

Le opere sopra descritte sono conformi ai requisiti prestazionali richiesti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. del 17/01/2018. **Ulteriori indicazioni e aspetti saranno analizzati nella fase esecutiva del progetto e comunque prima dell'inizio dei lavori in sede di acquisizione di autorizzazione in zona sismica ai sensi dell'articolo 94 del D.P.R.380/2001.**