

REGIONE: PUGLIA

PROVINCIA: LECCE

COMUNE: GUAGNANO

ELABORATO:

R.9

OGGETTO:

**PARCO EOLICO DA 6 WTG da 6,0MW/CAD E
SISTEMA DI ACCUMULO DELL'ENERGIA DA
18 MW**

PROGETTO DEFINITIVO

CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

PROPONENTE:



SORGENIA RENEWABLES S.R.L.

Via Algardi, 4
20148 Milano (MI)

sorgenia.renewables@legalmail.it

PROGETTISTA:



STIM ENGINEERING S.r.l.
VIA GARRUBA, 3 - 70121 BARI
Tel. 080.5210232 - Fax 080.5234353
www.stimeng.it - segreteria@stimeng.it

ing. Massimo CANDEO

Ordine Ing. Bari n° 3755
Via Canello Rotto, 3
70125 Bari
Mobile 328.9569922
m.candeo@pec.it

COLLABORAZIONE:

ing. Marco Evangelista
Ordine Ing. Bari n° 4245

Note:

DATA	REV	DESCRIZIONE	ELABORATO da:	APPROVATO da:
Novembre 2021	0	Emissione	ing. Marco Evangelista	ing. Massimo Candeo

PROPRIETÀ ESCLUSIVA DELLE SOCIETÀ SOPRA INDICATE UTILIZZO E DUPLICAZIONE VIETATE
SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
2.1	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN GENERALE.....	4
2.2	FASI DI LAVORO PER LA REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO.....	7
2.3	DATI STRUTTURALI DI PROGETTO	8
3	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	11
4	INPUT DI MODELLAZIONE NUMERICA FEM	12
4.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI GUAGNANO	12
4.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	16
4.3	IPOTESI DI PROGETTO E PARAMETRI SISMICI	17
4.4	CRITERI DI CONCEZIONE E DI SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE: EFFICACIA DEL MODELLO	18
5	ANALISI STRUTTURALE	20
5.1	VALORI DI PROGETTO DELLA RESISTENZA DEI MATERIALI STRUTTURALI	20
5.2	PRESCRIZIONI SUL CALCESTRUZZO DI FONDAZIONE.....	20
5.3	ACCIAIO PER OPERE IN C.A.	21
5.4	DEFINIZIONE DEL COPRIFERRO	21
5.5	CLASSE DI ESPOSIZIONE	22
5.6	AZIONI DI PROGETTO	22
5.7	COMBINAZIONI DI CARICO.....	23
5.8	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)	25
6	DATI	27
6.1	MATERIALI	27
6.2	GEOMETRIA.....	27
6.3	SPESSORI PIASTRA	28
6.4	DESCRIZIONE TERRENI.....	28
6.5	CARICHI.....	34
6.6	DETTAGLI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE	38
7	PRINCIPALI VERIFICHE	37
7.1	VERIFICHE GEOTECNICHE	39
7.2	VERIFICHE STRUTTURALI	40
7.3	VERIFICA EQUILIBRIO DI CORPO RIGIDO	46
7.4	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	47
7.5	VALUTAZIONE DELLA RIGIDEZZA ROTAZIONALE DINAMICA (DRS).....	51
8	METODOLOGIE DI CALCOLO, TIPO DI ANALISI E STRUMENTI UTILIZZATI	53

1 PREMESSA

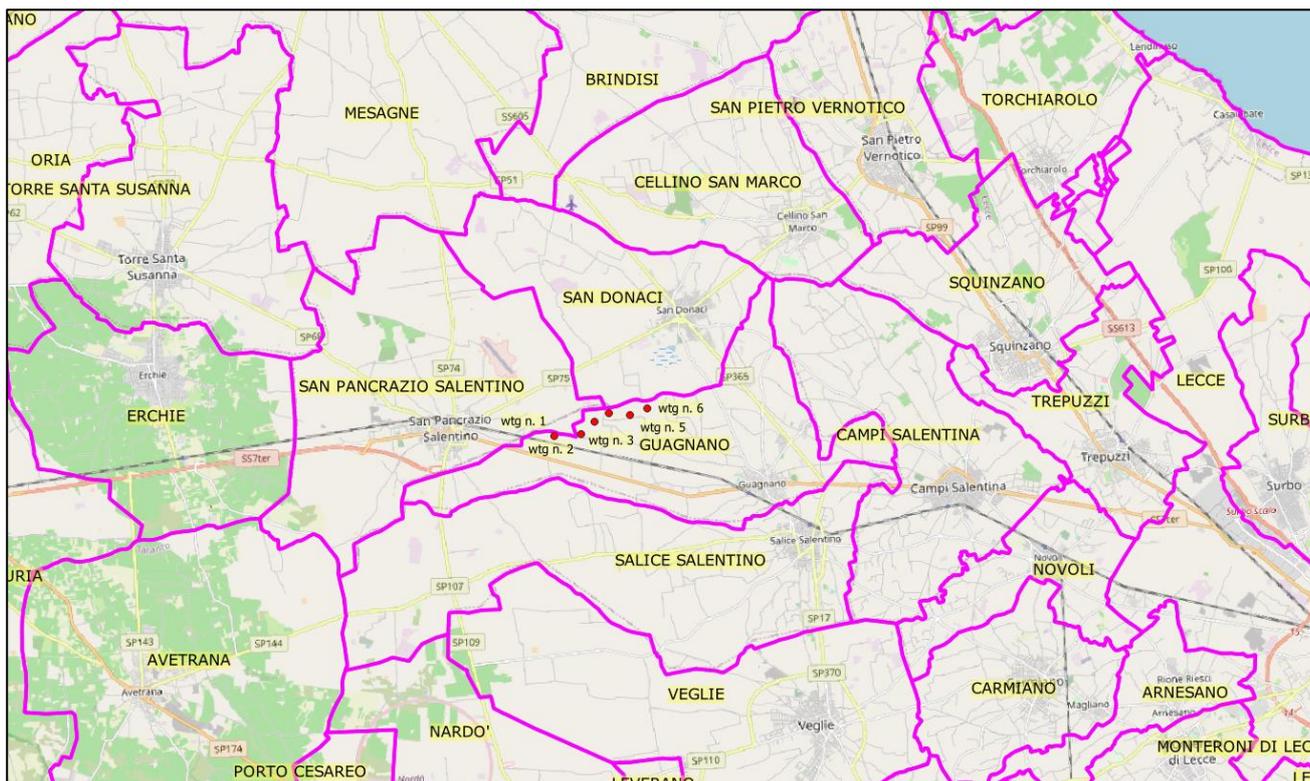
La presente Relazione è strutturata come di seguito:

- Il CAPITOLO 2 è introduttivo e descrittivo;
- il CAPITOLO 3 riporta le norme di riferimento;
- il CAPITOLO 4 individua la categoria sismica del sottosuolo del sito di realizzazione;
- il CAPITOLO 5 indica l'origine e la tipologia delle condizioni di carico elementari considerate permanenti e variabili in termini di carico accidentale generico ed indica le modalità secondo norma in cui saranno combinati per l'analisi dei diversi stati limite (ultimi e di esercizio);
- il CAPITOLO 6 definisce i dati di calcolo in termini di geometria del modello e di resistenza di progetto dei materiali strutturali utilizzati nonché condizioni di carico elementari e le successive combinazioni individuate
- il CAPITOLO 7 riporta i principali risultati dell'analisi;
- il CAPITOLO 8 riporta le metodologie di calcolo e software commerciale utilizzati.

2 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

2.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN GENERALE

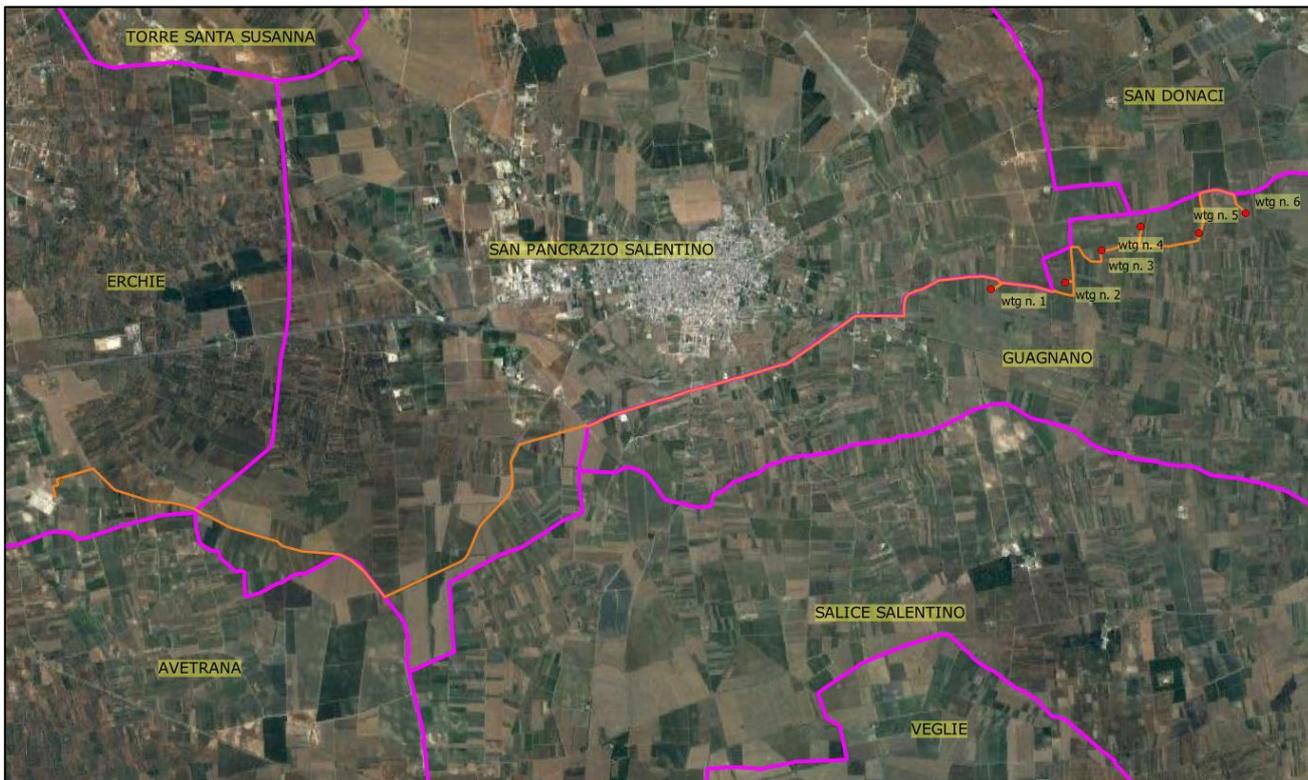
La presente relazione contiene la Relazione dei calcoli preliminari delle strutture di un progetto per la realizzazione di un impianto eolico in Agro del Comune di Guagnano (LE), costituito da 6 aerogeneratori tripala (WTG) ad asse orizzontale, ciascuno di potenza nominale pari a 6 MW, per una potenza elettrica complessiva pari a 36 MW e di un sistema di accumulo dell'energia di potenza pari a 18 MWp.



Inquadramento a scala ampia dell'area di intervento con limiti comunali

In particolare l'area oggetto di intervento è ubicata nei pressi, ma ad adeguata distanza, dalla SS7 ter e da Castello Monaci e nelle vicinanze della SP 365 Guagnano – San Donaci e della SP75 San Pancrazio Salentino – San Donaci.

Di seguito è riportato un inquadramento su ortofoto del layout dell'impianto, in cui sono mostrate le posizioni degli aerogeneratori, la viabilità di nuova realizzazione ed il percorso del cavodotto di connessione alla rete elettrica nazionale.



Inquadramento a scala ridotta dell'area di intervento

WTG	COMUNE	Estremi catastali		Coordinate WGS84 UTM 33N	
		Fg.	P.IIa	E	N
1	Guagnano	18	15	744009	4477909
2	Guagnano	5	156	744833	4477978
3	Guagnano	5	147	745227	4478343
4	Guagnano	6	214	745667	4478611
5	Guagnano	6	133	746313	4478532
6	Guagnano	6	149	746825	4478756

Layout di progetto – Posizione aerogeneratori

Il Layout dell'impianto è schematicamente indicato nella precedente figura, comunque sarà meglio dettagliato nelle **Tavole di Progetto**.

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, sulla cui sommità è installata la navicella il cui asse è a **115 mt** dal piano campagna con annesso il rotore di diametro pari a **170 m**, per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di **200 mt** rispetto al suolo.

Potrebbe essere impiegata una turbina eolica del tipo **SG 6.0-170 SIEMENS Gamesa da 6,0 MW o simile**.

Immediatamente prima della realizzazione si opterà per il modello fra i più performanti disponibili al momento, fermo restando che quello che sarà installato manterrà gli stessi parametri geometrici precedentemente indicati e le medesime emissioni acustiche, tenendo conto delle caratteristiche anemometriche proprie del sito e le altre esigenze di impianto.

A servizio degli aerogeneratori saranno realizzate le seguenti OPERE EDILI:

- realizzazione di viabilità di accesso all'area ed ai punti macchina,
- realizzazione delle piazzole di cantiere e definitive;
- posa dei cavidotti di impianto;
- fondazioni per gli aerogeneratori;
- sistemazione dell'area Sotto Stazione Elettrica Utente;
- fondazioni per componenti elettromeccaniche nella stessa;
- ripristini nell'area a fine cantiere.

Per lo stesso scopo saranno realizzate le seguenti OPERE ELETTRICHE:

OPERE DI UTENZA:

- realizzazione di una SOTTO STAZIONE UTENTE di connessione e consegna AT/MT, ubicata all'interno dei confini amministrativi del Comune di Erchie (BR), in prossimità della citata stazione elettrica TERNA;
- posa in opera di cavi interrati MT per il trasporto dell'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori d'impianto alla SOTTO STAZIONE ELETTRICA UTENTE (SSEU) di connessione e consegna AT/MT.

Il collegamento elettrico tra l'area d'installazione degli aerogeneratori e la stazione MT/AT per l'innalzamento della tensione dell'energia elettrica prodotta dal parco eolico a 150kV, per la successiva connessione alla rete di trasmissione nazionale, gestita da TERNA SpA, sarà realizzato mediante la messa in opera, all'interno del medesimo scavo a sezione ristretta, dei cavidotti (in numero variabile in funzione della tratta considerata) a 30 kV afferenti a sotto-campi in cui è stato elettricamente suddiviso l'impianto.

OPERE DI RETE:

- posa in opera di cavo AT 150kV per il trasporto dell'energia elettrica dalla SOTTO STAZIONE UTENTE di connessione e consegna AT/MT allo stallo dedicato della stazione TERNA Spa.

Si rimanda agli elaborati grafici di riferimento per la visualizzazione del tracciato di posa in opera dei cavidotti interrati e la posizione geografica delle sopra citate stazioni elettriche.

2.2 FASI DI LAVORO PER LA REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

La realizzazione dell'intervento proposto riguarderà le AREE d'installazione delle WTG non necessariamente contemporaneamente attivate:

- apertura cantiere;
- interventi sulla viabilità esistente, al fine di rendere possibile il transito dei mezzi speciali per il trasporto degli elementi degli aerogeneratori;
- realizzazione delle piste d'accesso alla piazzole, che dalla viabilità interpodereale esistente consentano il transito dei mezzi di cantiere, per il raggiungimento dell'area d'installazione di ciascun aerogeneratore;
- realizzazione delle piazzole per l'installazione degli aerogeneratori;
- scavi a sezione larga per la realizzazione della fondazione di macchina e scavi a sezione ristretta per la messa in opera dei cavidotti;
- realizzazione delle fondazioni di macchina;
- installazione degli aerogeneratori;
- realizzazione della stazione elettrica di connessione e consegna;
- installazione cabina di sezionamento/parallelo;
- messa in opera dei cavidotti interrati;
- realizzazione della connessione elettrica d'impianto alla rete di trasmissione gestita da TERNA.

Qui di seguito una possibile suddivisione delle FASI DI LAVORO:

- preparazione del cantiere attraverso i rilievi sull'area e picchettamento delle aree di intervento;
- apprestamento delle aree di cantiere;
- realizzazione delle piste d'accesso all'area di intervento dei mezzi di cantiere;
- livellamento e preparazione delle piazzole;
- modifica della viabilità esistente fino alla finitura per consentire l'accesso dei mezzi di trasporto delle componenti degli aerogeneratori;
- realizzazione delle fondazioni in ciascuna piazzola (scavi, casseforme, armature, getto cls, disarmi, riempimenti);
- montaggio aerogeneratori;
- montaggio impianto elettrico aerogeneratori;
- posa cavidotto in area piazzola e pista di accesso;
- finitura piazzola e pista;
- posa cavidotti di collegamento tra gli aerogeneratori; posa cavidotti di collegamento alla

stazione elettrica di connessione e consegna MT/AT (scavi, posa cavidotti, riempimenti, finitura) compresa la risoluzione di eventuali interferenze; posa cavidotto di collegamento tra la stazione elettrica MT/AT lo stallo dedicato della stazione RTN esistente;

- preparazione area stazione elettrica MT/AT (livellamento, scavi e rilevati);
- preparazione area cabina elettrica di sezionamento/parallelo (livellamento, scavi e rilevati);
- fondazioni stazione elettrica MT/AT;
- montaggio stazione elettrica MT/AT;
- fondazioni cabina elettrica sezionamento/parallelo ed installazione della stessa;
- cavidotti interrati interni: opere edili;
- cavidotti interrati interni: opere elettriche;
- impianto elettrico MT/AT di connessione e consegna;
- collaudi impianto elettrico generazione e trasformazione;
- opere di ripristino e mitigazione ambientale;
- conferimento inerti provenienti dagli scavi e dai movimenti terra;
- posa terreno vegetale per favorire recupero situazione preesistente.

2.3 DATI STRUTTURALI DI PROGETTO

L'aerogeneratore impiegato nel presente progetto è costituito da una torre di sostegno tubolare metallica a tronco di cono, sulla cui sommità è installata la navicella il cui asse è a 115 mt dal piano campagna con annesso il rotore di diametro pari a 170m (lunghezza pala 85 mt circa), per un'altezza massima complessiva del sistema torre-pale di 200 mt.

Come detto potrebbe essere impiegata una turbina eolica del tipo **SG 6.0-170 SIEMENS Gamesa da 6,0 MW o simile**.

L'ancoraggio alle fondazioni in oggetto avverrà tramite opportuno sistema di ancoraggio fornito dal costruttore delle turbine e precisamente tramite 104+104 tirafondi precaricati preassemblati su due flange, superiore ed inferiore, la cui circonferenza media avrà un diametro pari a mt 4,35 come da documento "**D2370721-004 SGRE ON SG 6.0-170 Foundation loads T115-50**".

In relazione alle stratigrafie ed ai modelli geotecnici assunti per gli aerogeneratori si adotteranno due distinte tipologie di fondazione per il parco in esame e precisamente:

fondazioni di tipo indiretto (plinti su pali) per gli aerogeneratori denominati WTG01 e WTG02

fondazioni di tipo diretto (superficiali) per gli aerogeneratori denominati WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

La struttura di fondazione è costituita in entrambi i casi da:

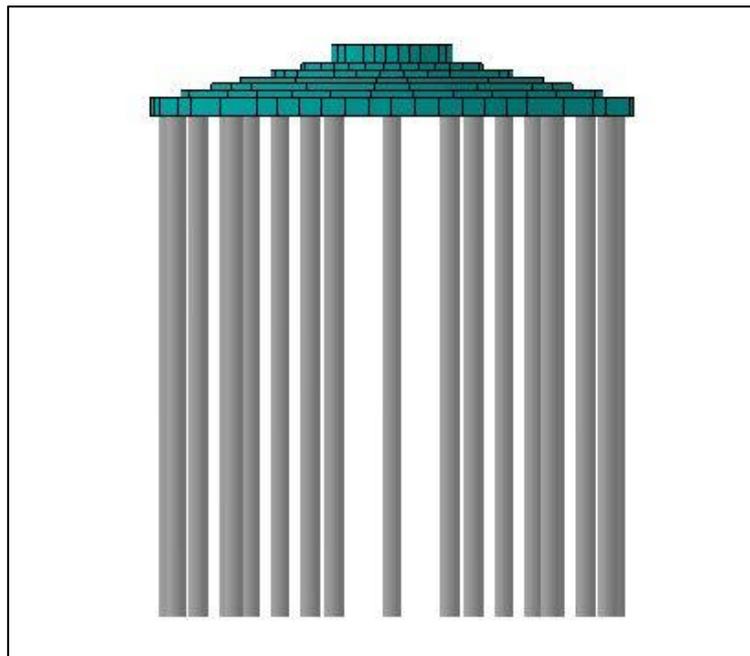
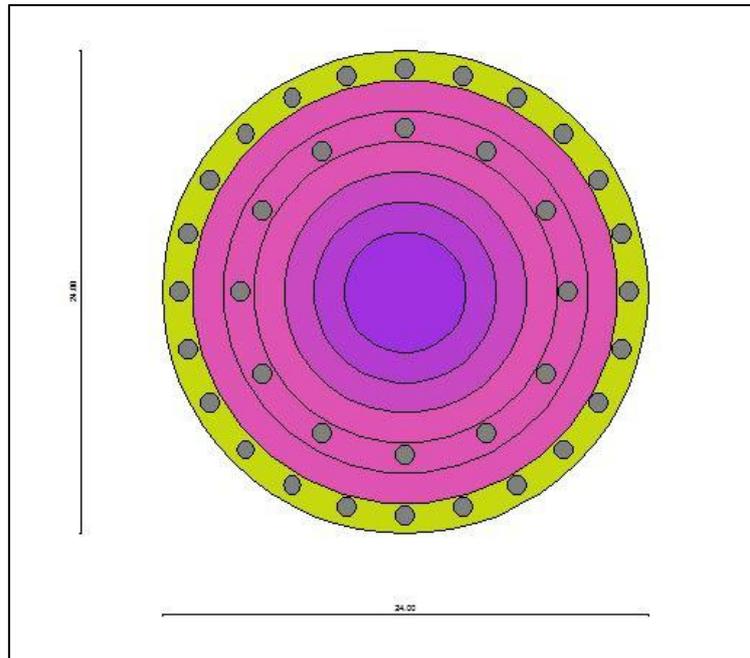
- Piastra circolare in c.a. del diametro $D=24,00$ ml, con un'altezza variabile da mt 0.90 a mt 2.75 fino ad una circonferenza concentrica del diametro di mt 6,00.

A partire da detta circonferenza, spessore costante della platea fino al centro pari a mt 3,35.

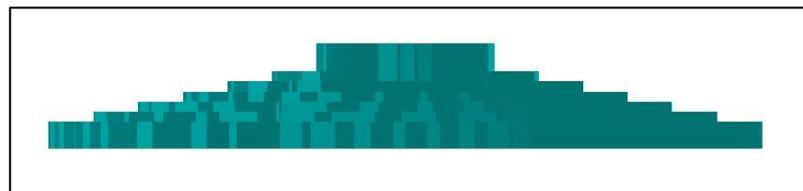
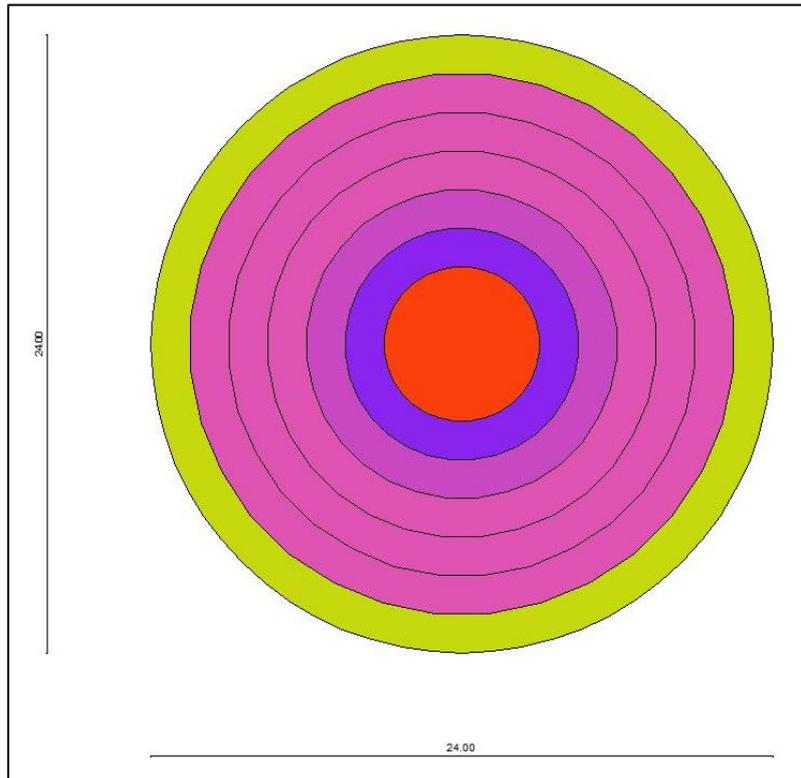
Il modello di calcolo relativo viene discretizzato in un solido a gradoni come da figura seguente.

La piastra sarà interrata per circa 3,45 mt in c.a. del diametro $D=24,00$ ml, con un'altezza variabile da mt 0.90 a mt 2.75 fino ad una circonferenza concentrica del diametro di mt 6,00

La fondazione su pali prevede, su piastra circolare in c.a. del diametro $D=24,00$ ml, con un'altezza variabile da mt 0.90 a mt 2.75 fino ad una circonferenza concentrica del diametro di mt 6,00, la realizzazione di due corone: la corona esterna ha diametro pari a 22,20 mt e 24 pali di diametro 1,0 mt e lunghezza 25,00 mt, la corona interna ha diametro pari a 16,20 mt con 12 pali di diametro 1,0 mt e lunghezza 25,00 mt.



Geometria della fondazione su pali (WTG 01, 02)



Geometria della fondazione superficiale di tipo diretto (WTG 03,04, 05, 06)

3 **NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO**

- **Legge n. 1086 05.11.1971** "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- **Legge 02/02/1974 n. 64**, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- **D.M. LL.PP. 11.03.1988** "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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relativa **Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988**;
- **ORDINANZA P.C.M. N: 3274 del 02/05/2003** (G.U. 08/05/2003, n. 105 suppl.) modificata ed integrata ai sensi della ORDINANZA P.C.M. N. 3316 del 02/10/2003 (G.U. 10/10//2003, n. 236) e della ORDINANZA P.C.M. N. 3431 del 03/05/2005 (G.U. 10-5-2005, n. 107 -suppl.): Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.P.C.M. n° 3685 del 21/10/03, G.U. n° 252, del 29/10/03;
- **Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio Servizio Sismico Nazionale, 29/03/04**: Elementi informativi sull'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.5.2003);
- **DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONE PUGLIA 2 marzo 2004, n. 153**: "L.R. Puglia 20/00 - O.P.C.M. 3274/03 - Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti - Approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi." (B.U.R. Puglia n. 33 del 18.03.2004);
- Del G.R. n° 597 del 27/04/2004, B.U.R. n°56 del 06/05/04;
- Del G.R. n° 260 del 07/03/2005, B.U.R. n°50 del 16/04/05;
- O.P.C.M. n° 3519 del 28/04/06, G.U. n° 108, del 11/05/06;
- **D.M. 17 gennaio 2018**. Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni.
- **Circolare del 21/01/2019 n. 7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**, Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- **EUROCODICE 2 (EN 1992)** – Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- **EUROCODICE 7 (EN 1997)** – Progettazione geotecnica
- **CEI EN 61400-1 (2007)**. Turbine eoliche, parte 1: prescrizioni di progettazione.

4 INPUT DI MODELLAZIONE NUMERICA FEM

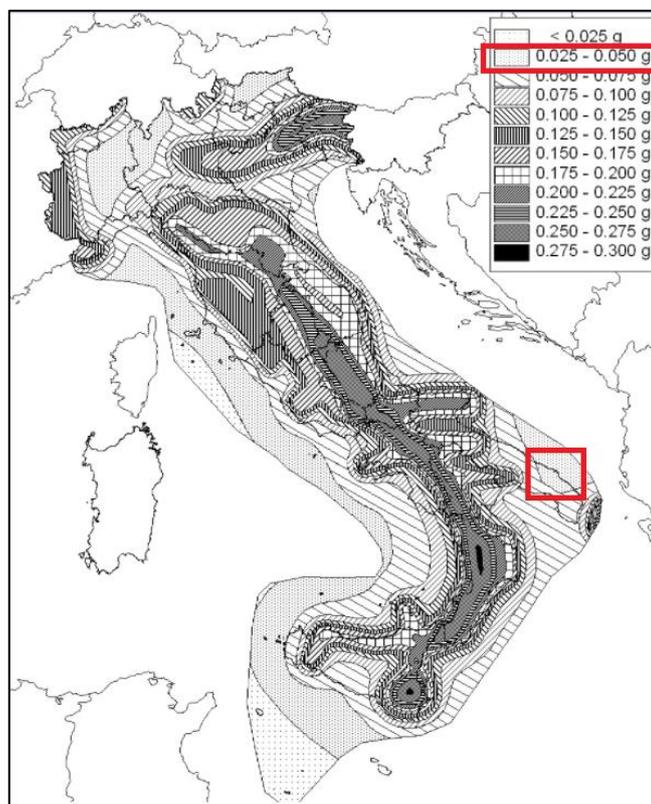
4.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI GUAGNANO

Ai fini sismici il territorio di Cassano è incluso nell'elenco delle località sismiche appartenenti alla zona 3. Tale classificazione, dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica", è stata recepita dalla Regione Puglia con Delibera Giunta Regionale n. 153 del 2 marzo 2004.

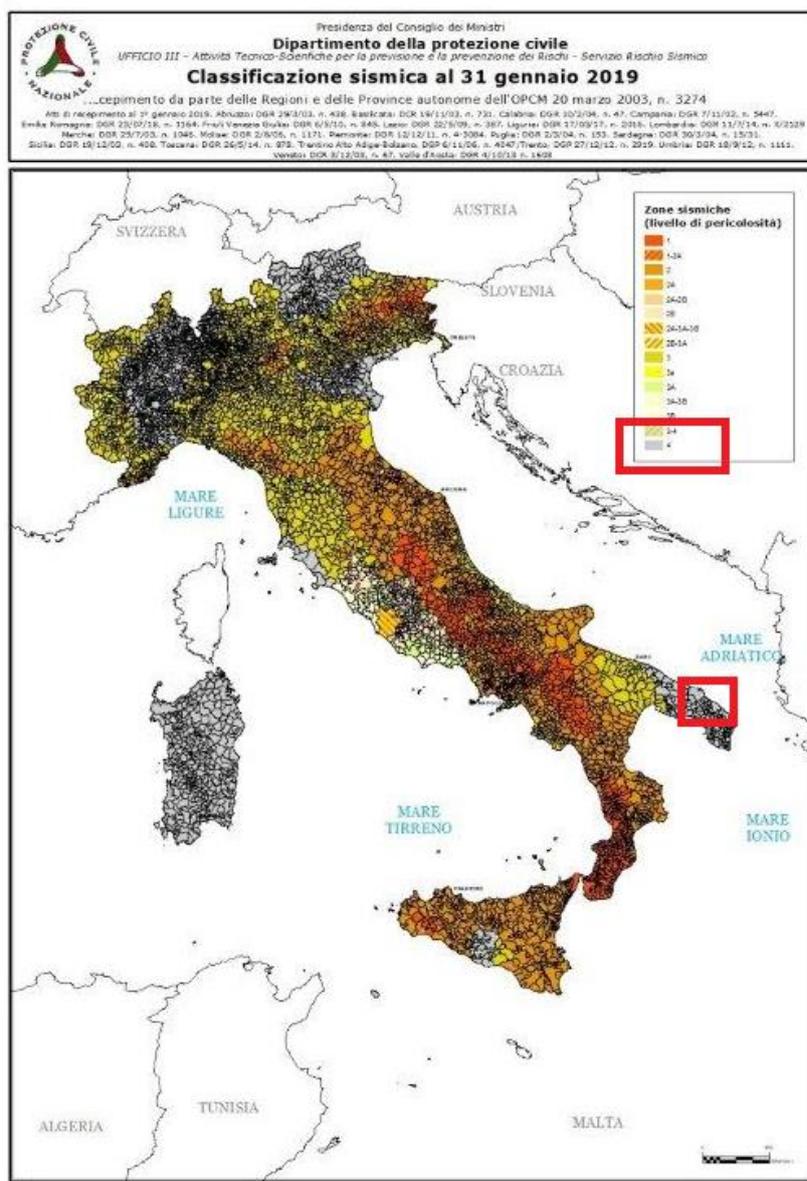
zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _v /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a _v /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione, basandosi su una classificazione a priori:



Mapa sismica OPCM 3519 del 28 aprile 2006



Mapa sismica aggiornata al gennaio 2019

Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 e Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018), infatti, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La **classificazione sismica** (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

I parametri di pericolosità sismica sono deducibili a partire dalle coordinate geografiche dall'allegato I alle NTC 14/01/2008 o in ultima analisi da applicativi in genere freeware

<u>WTG 1</u>	WGS84 LONG-LAT	17.875940°	40.416050°	
	T_R	a_g (m/s ²)	F_0	T_C^*
SLO	30	0.155583	2.317952	0.158894
SLD	50	0.205846	2.341138	0.230581
SLV	475	0.494092	2.514572	0.465718
SLC	975	0.601203	2.635716	0.520657
<u>WTG 2</u>	WGS84 LONG-LAT	17.885660°	40.416440°	
	T_R	a_g (m/s ²)	F_0	T_C^*
SLO	30	0.155190	2.318382	0.158816
SLD	50	0.205389	2.341373	0.230308
SLV	475	0.493874	2.511965	0.465996
SLC	975	0.601394	2.631800	0.521067
<u>WTG 3</u>	WGS84 LONG-LAT	17.890440°	40.419600°	
	T_R	a_g (m/s ²)	F_0	T_C^*
SLO	30	0.155040	2.318200	0.158773
SLD	50	0.205157	2.341870	0.230155
SLV	475	0.493420	2.512036	0.465834
SLC	975	0.600860	2.631665	0.520910
<u>WTG 4</u>	WGS84 LONG-LAT	17.895720°	40.421880°	
	T_R	a_g (m/s ²)	F_0	T_C^*
SLO	30	0.149722	2.326697	0.157550
SLD	50	0.199551	2.340653	0.225976
SLV	475	0.488666	2.487226	0.467835
SLC	975	0.599810	2.593426	0.525363

<u>WTG 5</u>	WGS84 LONG-LAT	17.903300°	40.420980°	
	T_R	a_g (m/s ²)	F_0	T_c^*
SLO	30	0.149442	2.327431	0.157481
SLD	50	0.199305	2.340256	0.225743
SLV	475	0.488423	2.486193	0.467918
SLC	975	0.599721	2.591843	0.525638
<u>WTG 6</u>	WGS84 LONG-LAT	17.909410°	40.422840°	
	TR	ag (m/s ²)	F0	Tc*
SLO	30	0.149044	2.328072	0.157376
SLD	50	0.198894	2.340074	0.225389
SLV	475	0.487864	2.485135	0.467893
SLC	975	0.599269	2.590095	0.525809

Tabella 1 – Coordinate geografiche e parametri di pericolosità sismica

4.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per **individuare la categoria sismica del suolo di fondazione** dell'area indagata, in corrispondenza del sito di installazione dell'aerogeneratore sono state eseguite indagini sismiche con metodologia MASW come riportato nella Relazione Geologica redatta dal Dott. Geol. Raffaele Sassone: sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali è stato possibile determinare il parametro Vs30, come previsto dal Testo Unico per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018, **Vs,eq**:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

In particolare risulta:

WTG	V _{S,eq}	CATEGORIA
1	V _{S,eq} = 331.71 m/s	C
2	V _{S,eq} = 365.85 m/s	B
3	V _{S,eq} = 412.36 m/s	B
4	V _{S,eq} = 362.73 m/s	B
5	V _{S,eq} = 323.95 m/s	C
6	V _{S,eq} = 432.91 m/s	B

Quanto affermato si desume dalla **Tabella 3.2. Il D.M. 17 Gennaio 2018** – Categorie di sottosuolo

Categoria Descrizione

A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 100 e 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Per ciò che attiene la **classificazione delle condizioni topografiche** secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC, considerato l'assetto planoaltimetrico della porzione di territorio in esame, l'area d'intervento può essere classificata come appartenente alla

Categoria 'T1': "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

4.3 IPOTESI DI PROGETTO E PARAMETRI SISMICI

Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni DM 2018 [XI], l'azione sismica sull'opera in esame è stata valutata a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria B o C).

Ad oggi, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Nello specifico, le azioni di progetto sono ricavate, ai sensi del DM 2018, a partire dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

*Quest'ultime sono definite, secondo norma, su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei tre parametri p (a_g , FO , T^*C) - Tabella B, [XI] - e da prescelte probabilità di superamento P_{VR} e vite di riferimento V_R .*

Per il calcolo dei parametri sismici locali e delle accelerazioni e tempi di ritorno riferiti ai differenti stati limite considerati sono state assunte le seguenti IPOTESI DI PROGETTO ai sensi del Par. 2.4. delle NTC 2018 [XI]:

- Tipo di costruzione: **2** "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale"
- Vita nominale di progetto: **$V_N = 50$ [anni]**
- Classe d'uso: **II^(*)** "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti."
- Periodo di riferimento: **$V_R = 50$ [anni]**

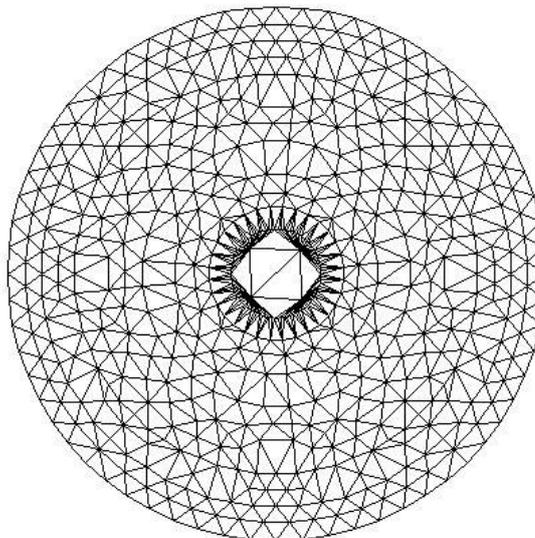
Nel caso specifico valgono i parametri sismici riportati nella precedente Tabella 1.

NOTA (*) Ai sensi della DGR n. 1214 del 31/05/2011 i singoli aerogeneratori possono essere verificati per le sollecitazioni sismiche derivanti dalla **Classe d'uso II**.

4.4 CRITERI DI CONCEZIONE E DI SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE: EFFICACIA DEL MODELLO

La progettazione e la verifica delle opere strutturali in oggetto sono state eseguite con il codice di calcolo numerico ad elementi finiti denominato "**API++Platee e Graticci 14.0**" e sviluppato dall'Aztec Informatica. Per la descrizione completa del software e per approfondimenti sui criteri di calcolo, si faccia riferimento a quanto dettagliatamente riportato nei tabulati di calcoli .

La struttura di fondazione e il suo comportamento sotto le azioni statiche è stato adeguatamente valutato, interpretato e trasferito nel modello tridimensionale realizzato (Figura 1) e descritto in premessa al fine di eseguire una corretta analisi ad elementi finiti FEA.



Mesh Modello: n. elementi = 1162; n. nodi = 614

Il calcolo è stato condotto mediante analisi lineare.

Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura. Sono stati, inoltre, valutati tutti i possibili effetti o le azioni che possano essere significative e avere implicazione per la struttura in esame.

Per l'analisi della platea di fondazione è stato utilizzato il metodo degli elementi finiti (FEM).

La struttura è stata suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi. Il campo degli spostamenti, interno all'elemento, viene approssimato in funzione degli spostamenti nodali

mediante le funzioni di forma. Il programma ha utilizzato, per l'analisi tipo piastra, elementi triangolari. Nello specifico, è stata generata una mesh triangolare strutturata su una maglia stabilita a priori.

Infine, il comportamento del terreno è stato sostanzialmente modellato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler (una serie di molle non reagenti a trazione disposte in corrispondenza dei nodi), principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna rigidità laterale, che è funzione delle caratteristiche del terreno .

In considerazione dell'assetto litostratigrafico e geotecnico dell'area, rivelatasi nell'insieme omogenea, la caratterizzazione stratigrafica determinata è da considerarsi caratteristica per i siti di realizzazione degli aerogeneratori denominati WTG01 e WTG02 e per i siti di realizzazione degli aerogeneratori denominati WTG03, WTG04, WTG05, WTG06.

5 ANALISI STRUTTURALE

5.1 VALORI DI PROGETTO DELLA RESISTENZA DEI MATERIALI STRUTTURALI

- I materiali da costruzione da impiegare per la realizzazione delle strutture di fondazione per singolo aerogeneratore sono rappresentati, rispettivamente, da tondini in acciaio per armatura e da conglomerato cementizio con specifiche caratteristiche prestazionali dettagliate.
- In generale, detti materiali rientrano fra i tipi previsti dalla normativa tecnica vigente in materia.
- Nello specifico, per le opere in fondazione (piastra e pali), l'acciaio per armatura consiste in barre ad aderenza migliorata per cemento armato del tipo "B450C", mentre il calcestruzzo è di Classe "C35/45".

Per i valori di progetto della resistenza dei materiali si è fatto riferimento ai seguenti coefficienti parziali di sicurezza γ_M .

SLU: $\gamma_M=1,50$ per il Calcestruzzo $\gamma_M=1,15$ per l'Acciaio

SLE: $\gamma_M=1,00$ per il Calcestruzzo $\gamma_M=1,00$ per l'Acciaio

5.2 PRESCRIZIONI SUL CALCESTRUZZO DI FONDAZIONE

<i>Controllo di accettazione:</i>	<i>tipo A</i>
<i>Classe di resistenza del calcestruzzo:</i>	<i>C35/45</i>
<i>Resistenza a compressione sui cubetti</i>	<i>$R_{ck} > 45 \text{ N/mm}^2$</i>
<i>Copriferro minimo nominale:</i>	<i>5 cm</i>
<i>Classe di esposizione:</i>	<i>XC2</i>
<i>Classe di consistenza</i>	<i>S4 (fluida)</i>
<i>Massimo rapporto A/C:</i>	<i>0,55</i>
<i>Tipo/classe di cemento:</i>	<i>CEM II/AL 42,5 R</i>
<i>Diametro massimo inerte:</i>	<i>16-20 mm</i>
<i>Impiego di additive di tipo</i>	<i>"superfluidificante".</i>

Le suddette caratteristiche saranno conformi alle seguenti norme:

D.M. 2018, UNI EN 206-1:2001, UNI EN 11104:2004, UNI 8987, UNI 8520-2:2005, UNI EN 1744, UNI EN 1367, UNI EN 197-1:2007, UNI EN 934-2:2009

5.3 ACCIAIO PER OPERE IN C.A.

Acciaio dolce da Carpenteria del tipo Fe B 450 C qualificati secondo le procedure D.M. 14/01/2008 cap.11.3.1.2 e cap 11.3.3.5 nel seguente formato:

Barre tonde ad aderenza migliorata di diametri pari, rispettivamente, a 32, 25, 22, 20, 16, 12 mm e rispondente alle seguenti caratteristiche:

$$f_{y\ nom} > 450\text{N/mm}^2$$

$$f_{t\ nom} > 540\text{N/mm}^2$$

$$A_s > 7,5\%$$

$$1,15 < (f_t / f_y)k < 1,35$$

$$(f_t / f_{y\ nom})k < 1,25$$

Le suddette caratteristiche saranno conformi alle seguenti norme:

D.M. 2018

UNI EN 10020 :2001

UNI EN 10021 :2007

UNI EN 10080 :2005

Il campionamento e le prove saranno condotte secondo:

D.M. 2018

UNI EN ISO 7438 : 2005

5.4 DEFINIZIONE DEL COPRIFERRO

Classe di esposizione XC2

Classe strutturale S4

Copriferro nominale=Copriferro minimo + ΔC_{DEV}

Copriferro minimo= $\max(C_{minb}; C_{min,dur} + \Delta C_{DUR\gamma} - \Delta C_{ST} + \Delta C_{DUR,ADD}; 10\text{ mm})$

C_{minb} = diametro barra isolata 32 mm

$C_{min,dur}$ =25 mm

$\Delta C_{DUR\gamma} = 0$

$\Delta C_{ST} = 0$

$\Delta C_{DUR,ADD} = 0$

$\Delta C_{DEV} = 10\text{ mm}$

Copriferro minimo= C_{minb} = 32 mm

Copriferro nominale = 32 +10 = 42 mm

Copriferro nominale scelto= 50 mm

5.5 CLASSE DI ESPOSIZIONE

La classe di esposizione ambientale prevista per la struttura in oggetto è siglata XC sia nelle Linee Guida sia nelle UNI 11104 ed è relativa al rischio di corrosione dei ferri di armatura per carbonatazione del calcestruzzo.

In particolare, l'ossidazione dei ferri di armatura causa la formazione di sostanze chimiche aventi un volume ben superiore al ferro stesso; la matrice cementizia, di conseguenza, viene sollecitata a trazione, con successiva espulsioni di porzioni di calcestruzzo (fenomeni "spalling" in corrispondenza degli spigoli, fenomeni di "delaminazione" in corrispondenza delle superfici piane).

La prevenzione di tale fenomeno è stato circoscritto alla qualità del calcestruzzo prescritto, quindi idonea resistenza caratteristica conforme alle reali condizioni ambientali, ad una corretta posa del materiale, unitamente al rispetto del copriferro di progetto.

In generale, la XC presenta in tutto 4 sottoclassi, connesse con le condizioni di umidità dell'ambiente ed, in particolare, passando dalla XC1 alla XC4, l'ambiente aumenta la propria umidità relativa e di conseguenza il pericolo da corrosione.

Sia la UNI 11104 sia le Linee Guida hanno operato un accorpamento della XC1 e XC2, con rapporto a/c = 0,6 e stessa resistenza caratteristica. In realtà, trattandosi di due ambienti diversi, è opportuno operare con due miscele diverse per migliorare il calcestruzzo dal punto di vista qualitativo.

In particolare per le strutture di fondazioni, la miscela dovrà essere formulata in modo da migliorare la sua "impermeabilità" mediante un rapporto a/c inferiore, trattandosi di un calcestruzzo destinato ad opere prevalentemente a contatto con acqua.

5.6 AZIONI DI PROGETTO

La progettazione strutturale delle opere in fondazione, è stata eseguita partendo dai carichi di progetto "Characteristics loads" e "Extreme Wind Loads" .

Le azioni di progetto prese in considerazione sono:

- azioni dovute a peso proprio della struttura in elevazione e della struttura di fondazione
- carichi permanenti e variabili
- dedotte dalle seguenti tabelle del documento "D2370721-001 SGRE ON SG 6.0-170 Foundation Loads T115-50"

Load case	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
D1c62_V42.5_060_s9	1535,05	50,5	-6826,1	4163,87	178349,5	374,9

Table 4 SG 6.0-170 HH115m Characteristics Loads at the base of the tower

Load case	Load factor	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	F _{xy} (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)	M _z (kNm)	M _{xy} (kNm)
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1,1	1688,55	55,55	-7508,71	1689,47	4580,25	196184,46	412,39	196237,91
Dlc22_3bn_V11.0_n_s7	1.0	1535,05	50,5	-6826,1	1535,88	4163,87	178349,5	374,9	178398,1

Table 3 SG 6.0-170 HH115m Factored/Unfactored Extreme loads at tower bottom

Per la geometria delle macchine installate sopra la torre non sono stati considerati carichi da neve.

In particolare, i carichi di progetto includono il comportamento dinamico della struttura e corrispondono alla condizione di carico più sfavorevole alla base della torre metallica.

Generalmente dalle Relazioni di Calcolo della Torre emerge che di fatto sarà considerata come dimensionante la condizione di carico da vento amplificata di 1.5, in quanto è quella che fornisce le maggiori sollecitazioni di progetto sulla torre.

Per la geometria delle macchine installate sopra la torre non sono stati considerati carichi neve sia quanto influenti ai fini della verifica, sia perché non esistono in pratica possibilità di accumulo neve sia sulle pale che sulla navicella.

Dal valore complessivo dell'azione flettente ($M_{xy} = V(M_x^2 + M_y^2 + V(T_x^2 + T_y^2)) \times H_{fond}$) alla base per sisma, sensibilmente inferiore a quella derivante da vento estremo (in rapporto di 1 a 10 circa) in SLV, possiamo sicuramente concludere che tale azione non è dimensionante per le verifiche strutturali che seguono, anche se sommata a sollecitazioni dovute a vento in esercizio della macchina riportate in seguito.

A tal proposito è bene ricordare che per la norma italiana di riferimento, DM 17/01/2018 (8), il fattore di sicurezza per le combinazioni sismiche è 1,00 mentre è 1,50 per il vento, normative di settore quali la CEI IEC 61400-1 prevedono un fattore pari a 1,1.

5.7 COMBINAZIONI DI CARICO

La progettazione strutturale per singolo aerogeneratore è stata eseguita, ai sensi del D.M. 2018 [XI], verificando che l'opera soddisfi i requisiti di sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi SLU (Combinazione n° 1) e degli Stati Limite di Esercizio SLE (Combinazioni n° 2,3,4).

Pertanto, sono state considerate combinazioni di carico per azioni verticali e orizzontali, tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto sia della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli sia della probabilità che l'azione si verifichi con specifica intensità in relazione alle diverse situazioni analizzate.

- Per gli Stati Limite Ultimi è stata adottata la combinazione fondamentale per soli carichi statici, affinché siano soddisfatte le verifiche allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):

$$Y_{G1} \cdot G_1 + Y_{G2} \cdot G_2 + Y_P \cdot P + Y_{Q1} \cdot Q_{k1} + Y_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + Y_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad \textbf{Combinazione n° 1}$$

dove:

G_1 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);

G_2 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

P rappresenta pretensione e precompressione;

Q azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo

Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i -esima azione variabile;

Y_{gr}, Y_{qr}, Y_p coefficienti parziali come definiti nella tabella 6.2.I delle NTC;

ψ_{0j} sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici, come definiti nella tabella 2.5.I. delle NTC

- Per gli Stati Limite di Esercizio degli elementi strutturali, degli elementi non strutturali e degli impianti le verifiche sono state condotte facendo riferimento alle seguenti combinazioni di carico:
- $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

Combinazione n° 2 (quasi permanente)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione n° 3 (frequente)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica n° 4 (rara)

dove:

G_1 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);

G_2 rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

P rappresenta pretensione e precompressione;

Q azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo

Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i -esima azione variabile;

$\psi_{0j}, \psi_{1j}, \psi_{2j}$ sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici, come definiti nella tabella 2.5.I.

- In zona sismica, le sollecitazioni derivanti dalle sole azioni sismiche sono combinate con quelle derivanti dai soli carichi statici secondo un'opportuna combinazione sismica,

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \text{ (Sisma X+, Sisma Y+)}$$

E è l'azione sismica per lo stato limite e per la classe di importanza in esame;

G₁ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;

G₂ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

P rappresenta pretensione e precompressione;

ψ_{2i} coefficiente di combinazione delle azioni variabili Q_i come definiti in tab. 2.5.I. delle NTC

Q_{ki} valore caratteristico dell'azione variabile Q_i

$\gamma_E, \gamma_G, \gamma_P, \gamma_Q$ coefficienti parziali pari ad 1.

5.8 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

La progettazione strutturale è stata condotta in conformità a quanto stabilito nella normativa strutturale attualmente in vigore. In particolare le Norme Tecniche per le Costruzioni [XI], nel Capitolo 'Sesto' relativo alla 'Progettazione Geotecnica', impongono la effettuazione di verifiche geotecniche nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU) secondo due approcci che impongono nelle combinazioni differenti coefficienti parziali nei confronti delle azioni (A), dei parametri geotecnici del terreno (M) e delle resistenze caratteristiche (R):

- Approccio 1: sono previste due combinazioni di gruppi di coefficienti, di cui la prima (A1+M1+R1) più cautelativa nei confronti delle verifiche strutturali (STR) e la seconda (A2+M1+R2) più cautelativa nei confronti delle verifiche geotecniche (GEO).
- Approccio 2: è prevista una unica combinazione di gruppi di coefficienti (A1+M1+R3), da adottare sia nelle verifiche geotecniche, sia nelle verifiche strutturali.

Nello specifico, trattandosi di fondazione su pali per un gruppo di aerogeneratori (WTG01 e WTG02), e di fondazione superficiale per gli altri aerogeneratori in progetto (WTG03, WTG04, WTG05, WTG06) la progettazione ha tenuto conto nelle verifiche allo SLU del contenimento delle azioni di progetto (con i pertinenti fattori amplificativi) da parte delle resistenze strutturali, nelle verifiche allo SLE degli effetti delle azioni di progetto (con i pertinenti fattori amplificativi) rilevandone la compatibilità con l'utilizzo della sovrastruttura.

In particolare, le verifiche SLU e SLE sono state condotte soddisfacendo i requisiti riportati, rispettivamente, nel § 6.4.3.1. e § 6.4.3.2 del DM 2018 [XI].

La citata normativa (§ 6.4.3.1. di [XI]) impone le seguenti verifiche SLU:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - Collasso per carico limite dell'insieme fondazione - terreno
 - Collasso per scorrimento sul piano di posa

Le verifiche GEO sono riportate al paragrafo 6.6.

- SLU di tipo strutturale (STR)
Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali
Le verifiche STR sono riportate al paragrafo 6.7
- EQU verifica allo stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) per le sole fondazioni dirette-
Le verifiche EQU sono riportate al paragrafo 7.3 per la fondazione di tipo diretto.

Nel caso in esame è stato adottato l'**Approccio 2**, pertanto le azioni di progetto in fondazione derivano da un'analisi strutturale svolta impiegando un'**unica combinazione di gruppi di coefficienti parziali A1+M1+R3 (Tabb. 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II di [XI])**.

In particolare, la resistenza della fondazione soggetta a carichi assiali è stata eseguita ai sensi di quanto indicato dalla normativa DM 2018 [XI] nel § 6.4.2.1.:

Il valore di progetto della resistenza R_d della fondazione è stato determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificato nella Tab. 6.4.I per ciascun tipo di opera.

Il valore della resistenza caratteristica R_k è stato determinato, facendo riferimento alle procedure analitiche che prevedono l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_T	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

6 DATI

6.1 MATERIALI

Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descrizione	Descrizione materiale
TC	Tipo calcestruzzo
Rck	Resistenza cubica caratteristica, espresso in [N/mmq]
γ_{cls}	Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kN/mc]
E	Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [N/mmq]
ν	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogeneizzazione
TA	Tipo acciaio

n°	Descrizione	TC	Rck [N/mmq]	γ_{cls} [kN/mc]	E [N/mmq]	ν	n	TA
1	C35/45	C35/45	45,000	24,52	34625,349	0.200	15.00	B450C

6.2 GEOMETRIA

Coordinate contorno esterno

n°	X [m]	Y [m]									
1	27,00	15,00	2	26,94	16,18	3	26,77	17,34	4	26,48	18,48
5	26,09	19,59	6	25,58	20,66	7	24,98	21,67	8	24,28	22,61
9	23,49	23,49	10	22,61	24,28	11	21,67	24,98	12	20,66	25,58
13	19,59	26,09	14	18,48	26,48	15	17,34	26,77	16	16,18	26,94
17	15,00	27,00	18	13,82	26,94	19	12,66	26,77	20	11,52	26,48
21	10,41	26,09	22	9,34	25,58	23	8,33	24,98	24	7,39	24,28
25	6,51	23,49	26	5,72	22,61	27	5,02	21,67	28	4,42	20,66
29	3,91	19,59	30	3,52	18,48	31	3,23	17,34	32	3,06	16,18
33	3,00	15,00	34	3,06	13,82	35	3,23	12,66	36	3,52	11,52
37	3,91	10,41	38	4,42	9,34	39	5,02	8,33	40	5,72	7,39
41	6,51	6,51	42	7,39	5,72	43	8,33	5,02	44	9,34	4,42
45	10,41	3,91	46	11,52	3,52	47	12,66	3,23	48	13,82	3,06
49	15,00	3,00	50	16,18	3,06	51	17,34	3,23	52	18,48	3,52
53	19,59	3,91	54	20,66	4,42	55	21,67	5,02	56	22,61	5,72
57	23,49	6,51	58	24,28	7,39	59	24,98	8,33	60	25,58	9,34
61	26,09	10,41	62	26,48	11,52	63	26,77	12,66	64	26,94	13,82

6.3 SPESSORI PIASTRA

Simbologia adottata

Sp	Spessore, espresso in [mm]
n°	Indice del punto
X, Y	Ascissa e ordinata del punto, espresso in [mm]

Sp [mm]	n°	X [m]	Y [m]	n°	X [m]	Y [m]	n°	X [m]	Y [m]	n°	X [m]	Y [m]	
900,0	1	3,00	3,00	2	27,00	3,00	3	27,00	27,00	4	3,00	27,00	
	1241,6	1	13,97	4,53	2	16,03	4,53	3	18,05	4,94	4	19,96	5,72
		5	21,67	6,87	6	23,13	8,33	7	24,28	10,04	8	25,06	11,95
		9	25,47	13,97	10	25,47	16,03	11	25,06	18,05	12	24,28	19,96
		13	23,13	21,67	14	21,67	23,13	15	19,96	24,28	16	18,05	25,06
		17	16,03	25,47	18	13,97	25,47	19	11,95	25,06	20	10,04	24,28
		21	8,33	23,13	22	6,87	21,67	23	5,72	19,96	24	4,94	18,05
		25	4,53	16,03	26	4,53	13,97	27	4,94	11,95	28	5,72	10,04
		29	6,87	8,33	30	8,33	6,87	31	10,04	5,72	32	11,95	4,94
		1583,2	1	14,12	6,03	2	15,88	6,03	3	17,62	6,37	4	19,25
5	20,72		8,03	6	21,97	9,28	7	22,95	10,75	8	23,63	12,38	
9	23,97		14,12	10	23,97	15,88	11	23,63	17,62	12	22,95	19,25	
13	21,97		20,72	14	20,72	21,97	15	19,25	22,95	16	17,62	23,63	
17	15,88		23,97	18	14,12	23,97	19	12,38	23,63	20	10,75	22,95	
21	9,28		21,97	22	8,03	20,72	23	7,05	19,25	24	6,37	17,62	
25	6,03		15,88	26	6,03	14,12	27	6,37	12,38	28	7,05	10,75	
29	8,03		9,28	30	9,28	8,03	31	10,75	7,05	32	12,38	6,37	
1924,8	1		14,26	7,52	2	15,74	7,52	3	17,18	7,81	4	18,54	8,37
	5		19,77	9,19	6	20,81	10,23	7	21,63	11,46	8	22,19	12,82
	9	22,48	14,26	10	22,48	15,74	11	22,19	17,18	12	21,63	18,54	
	13	20,81	19,77	14	19,77	20,81	15	18,54	21,63	16	17,18	22,19	
	17	15,74	22,48	18	14,26	22,48	19	12,82	22,19	20	11,46	21,63	
	21	10,23	20,81	22	9,19	19,77	23	8,37	18,54	24	7,81	17,18	
	25	7,52	15,74	26	7,52	14,26	27	7,81	12,82	28	8,37	11,46	
	29	9,19	10,23	30	10,23	9,19	31	11,46	8,37	32	12,82	7,81	
	2266,4	1	14,41	9,02	2	15,59	9,02	3	16,74	9,25	4	17,83	9,70
		5	18,81	10,35	6	19,65	11,19	7	20,30	12,17	8	20,75	13,26
9		20,98	14,41	10	20,98	15,59	11	20,75	16,74	12	20,30	17,83	
13		19,65	18,81	14	18,81	19,65	15	17,83	20,30	16	16,74	20,75	
17		15,59	20,98	18	14,41	20,98	19	13,26	20,75	20	12,17	20,30	
21		11,19	19,65	22	10,35	18,81	23	9,70	17,83	24	9,25	16,74	
25		9,02	15,59	26	9,02	14,41	27	9,25	13,26	28	9,70	12,17	
29		10,35	11,19	30	11,19	10,35	31	12,17	9,70	32	13,26	9,25	
2608,0		1	14,56	10,51	2	15,44	10,51	3	16,31	10,69	4	17,12	11,02
		5	17,86	11,52	6	18,48	12,14	7	18,98	12,88	8	19,31	13,69
	9	19,49	14,56	10	19,49	15,44	11	19,31	16,31	12	18,98	17,12	
	13	18,48	17,86	14	17,86	18,48	15	17,12	18,98	16	16,31	19,31	
	17	15,44	19,49	18	14,56	19,49	19	13,69	19,31	20	12,88	18,98	
	21	12,14	18,48	22	11,52	17,86	23	11,02	17,12	24	10,69	16,31	
	25	10,51	15,44	26	10,51	14,56	27	10,69	13,69	28	11,02	12,88	
	29	11,52	12,14	30	12,14	11,52	31	12,88	11,02	32	13,69	10,69	
	3550,0	1	14,71	12,01	2	15,29	12,01	3	15,87	12,12	4	16,42	12,35
		5	16,91	12,68	6	17,32	13,09	7	17,65	13,58	8	17,88	14,13
9		17,99	14,71	10	17,99	15,29	11	17,88	15,87	12	17,65	16,42	
13		17,32	16,91	14	16,91	17,32	15	16,42	17,65	16	15,87	17,88	
17		15,29	17,99	18	14,71	17,99	19	14,13	17,88	20	13,58	17,65	
21		13,09	17,32	22	12,68	16,91	23	12,35	16,42	24	12,12	15,87	
25		12,01	15,29	26	12,01	14,71	27	12,12	14,13	28	12,35	13,58	
29		12,68	13,09	30	13,09	12,68	31	13,58	12,35	32	14,13	12,12	

6.4 DESCRIZIONE TERRENI

Sulla scorta degli studi delle risultanze delle indagini geognostiche effettuate è stato possibile elaborare per l'area di progetto un modello geologico di riferimento, il quale tiene conto di tutte le informazioni acquisite durante il presente studio, che viene nel seguito esplicitato.

All'interno dell'area progettuale le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sedime di fondazione sono abbastanza omogenee consentendo di individuare due distinte successioni di terreni: la prima per il gruppo di aerogeneratori costituito dai WTG01 e WTG02, la seconda per il gruppo di aerogeneratori costituito dai WTG03, WTG04, WTG05, WTG06.

In particolare si rileva la presenza di sabbie calcaree debolmente cementate per una profondità pari a mt 2,00 ÷3,00 per entrambe le successioni.

I siti di ubicazione degli aerogeneratori WTG01 e WTG02 presentano a seguire dai 3,00 mt al di sotto dell'attuale piano campagna argille con basso grado di consolidazione iniziale, crescente con la profondità.

I siti di ubicazione degli aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06 presentano a seguire dai 2,00 mt al di sotto dell'attuale piano campagna depositi calcarenitici con grado di coesione crescente con la profondità.

La falda idrica superficiale non è presente in nessuna delle aree investigate, mentre quella profonda, che circola all'interno della massa carbonatica è localizzata a quote che vanno dai 28 ai 35 m dal p.c., e pertanto non vi può essere alcuna interazione fra le acque sotterranee e le opere in progetto.

Alla luce di quanto detto è possibile distinguere all'interno dell'area interessata dal parco eolico le seguenti unità litologiche [U.L.]:

Siti di ubicazione degli aerogeneratori WTG01 e WTG02

- Unità Litologica 1: Sabbie calcaree debolmente cementate
- Unità Litologica 2: Argille con basso grado di consolidazione crescente con la profondità

Siti di ubicazione degli aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

- Unità Litologica 3: Sabbie calcaree debolmente cementate
- Unità Litologica 4: Depositi calcarenitici con grado di coesione crescente con la profondità

Sulla base dei modelli geologico di riferimento è possibile inoltre considerare i seguenti aspetti, valevoli per tutta l'area progettuale:

Categoria di sottosuolo B-C

Categoria Topografica T1

Rischio liquefazione dei terreni : Nullo

Rischio instabilità dei terreni : Situazione Stabile

Pericolosità geo-sismica del sito : Bassa

In accordo con il modello geologico, sintetizzando le risultanze delle indagini geognostiche effettuate unitamente ai dati bibliografici in possesso dello scrivente, è stato elaborato il modello geotecnico dell'area in studio, il quale è formato dalle seguenti unità geotecniche:

I valori delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati ricavati dall'elaborazione di tutte le prove eseguite oltre che da dati bibliografici in possesso dello scrivente riguardanti indagini pregresse su terreni simili a quelli in studio.

In particolare sono state parametrizzate le Unità geotecniche 1 e 2 di entrambi i gruppi di aerogeneratori.

UNITÀ GEOTECNICA 1 e 3: Sabbie calcaree debolmente cementate

In pratica, data la profondità del piano di intradosso della piastra di fondazione e considerando la presenza di sottostante spessore in calcestruzzo magro, tale strato non sarà interessato dalle strutture.

UNITA' GEOTECNICA 2: Argille con basso grado di consolidazione crescente con la profondità

Falda: Assente.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, prevalentemente coerente, a consistenza generalmente medio-bassa nei livelli superficiali, che tende ad aumentare con la profondità.

Comportamento Strato: addensato

Stato di addensamento: mediamente addensato.

Parametri geotecnici principali caratteristici:

γ (kN/m³) Peso per unità di volume naturale 20.4

ϕ (°) Angolo di attrito 32°

c_u (kPa) Coesione non drenata 138

E (Mpa) Modulo Elastico 1348

E_{ED} (Mpa) Modulo edometrico 2164

ν Coefficiente di Poisson 0,37

UNITA' GEOTECNICA 4: Depositi calcarenitici con grado di coesione crescente con la profondità

Falda: Assente.

Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, con comportamento assibilabile ad un ammasso roccioso dalle discrete qualità.

Comportamento Strato: Roccioso

Parametri geotecnici principali caratteristici:

γ (kN/m³) Peso per unità di volume naturale 17.4

ϕ (°) Angolo di attrito 34°

c' (kPa) Coesione efficace 150

E (Mpa) Modulo Elastico Statico 9806

E_{ED} (Mpa) Modulo edometrico 2164

ν Coefficiente di Poisson 0,30

KW Costante di Winkler (kg/cm²) 10

Le stratigrafie per singolo aerogeneratore sono riportate di seguito.

- Aerogeneratore WTG-01:

Tabella 5: Parametri geotecnici delle sabbie calcaree poco cementate (da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,79 g/cm ³	17554,18 N/m ³	peso di volume naturale
ν	0,38		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	0,59 Kg/cm ²	0,057 N/mm ²	coesione non drenata
ϕ	21°		angolo di attrito interno
E_d	271,35 Kg/cm ²	26,71 N/mm ²	modulo Edometrico
E	5427,80 Kg/cm ²	532,28 N/mm ²	modulo Elastico o di Young
G	1965,40 Kg/cm ²	192,73 N/mm ²	modulo di taglio
K	7592,90 Kg/cm ²	744,60 N/mm ²	modulo di incompressibilità
K_w	2 - 4 Kg/cm ³	19,60 - 39,20 N/cm ³	Coefficiente di Winkler

Tabella 6: Parametri geotecnici dei depositi argillosi alterati con basso grado di consolidamento (da -2,00 m dal p. c. in poi).			
Parametri fisici			
γ_n	2,05 g/cm ³	20103,95 N/m ³	peso di volume naturale
ν	0,39		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,15 Kg/cm ²	0,11 N/mm ²	coesione non drenata
ϕ	30°		angolo di attrito interno
E_d	1128,65 Kg/cm ²	110,68 N/mm ²	modulo Edometrico
E	22573,30 Kg/cm ²	2213,68 N/mm ²	modulo Elastico o di Young
G	8091,00 Kg/cm ²	793,45 N/mm ²	modulo di taglio
K	35816,30 Kg/cm ²	3512,37 N/mm ²	modulo di incompressibilità
K_w	2 - 4 Kg/cm ³	19,60 - 39,20 N/cm ³	Coefficiente di Winkler

- Aerogeneratore WTG-02:

Tabella 7: Parametri geotecnici delle sabbie calcaree poco cementate (da 0,00 m a -4,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,72 g/cm ³	16867,70 N/m ³	peso di volume naturale
ν	0,06		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	0,74 Kg/cm ²	0,072 N/mm ²	coesione non drenata
ϕ	24°		angolo di attrito interno
E_d	311 Kg/cm ²	30,49 N/mm ²	modulo Edometrico
E	6220,50 Kg/cm ²	610,73 N/mm ²	modulo Elastico o di Young
G	2939,80 Kg/cm ²	288,30 N/mm ²	modulo di taglio
K	2345,50 Kg/cm ²	230,00 N/mm ²	modulo di incompressibilità
K_w	2 - 4 Kg/cm ³	19,60 - 39,20 N/cm ³	Coefficiente di Winkler

Tabella 8: Parametri geotecnici dei depositi argillosi alterati con basso grado di consolidamento (da -4,00 m dal p. c. in poi).			
Parametri fisici			
γ_n	1,98 g/cm ³	19417,47 N/m ³	peso di volume naturale
ν	0,22		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,38 Kg/cm ²	0,13 N/mm ²	coesione non drenata
ϕ	32°		angolo di attrito interno
E_d	1359,80 Kg/cm ²	133,35 N/mm ²	modulo Edometrico
E	27196,80 Kg/cm ²	2667,13 N/mm ²	modulo Elastico o di Young
G	11104,80 Kg/cm ²	1089,00 N/mm ²	modulo di taglio
K	16455,80 Kg/cm ²	1613,78 N/mm ²	modulo di incompressibilità
K_w	2 - 4 Kg/cm ³	19,60 - 39,20 N/cm ³	Coefficiente di Winkler

- Aerogeneratore WTG-03:

Tabella 9: Parametri geotecnici delle sabbie calcaree poco cementate (da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,79 g/cm ³	17554,18 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,37		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	0,62 Kg/cm ²	0,060 N/mmq	coesione non drenata
θ	22°		angolo di attrito interno
Ed	293,85 Kg/cm ²	29,79 N/mmq	modulo Edometrico
E	5873,50 Kg/cm ²	578,00 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	2148,80 Kg/cm ²	217,70 N/mmq	modulo di taglio
K	7348,80 Kg/cm ²	720,86 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	2 - 4 Kg/cm ²	19,60 - 39,20 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 10: Parametri geotecnici dei depositi calcarenitici con grado di coesione medio-basso (da -2,00 m a -5,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	2,05 g/cm ³	20103,95 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,39		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,15 Kg/cm ²	0,11 N/mmq	coesione non drenata
θ	30°		angolo di attrito interno
Ed	1128,85 Kg/cm ²	110,68 N/mmq	modulo Edometrico
E	22573,30 Kg/cm ²	2213,70 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	8091,00 Kg/cm ²	793,46 N/mmq	modulo di taglio
K	35816,30 Kg/cm ²	3512,43 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	5 - 15 Kg/cm ²	49 - 147 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 11: Parametri geotecnici dei depositi calcarenitici con grado di coesione medio-alto (da -5,00 m dal p. c. in poi)			
Parametri fisici			
γ_n	2,26 g/cm ³	22163,38 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,30		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,57 Kg/cm ²	0,15 N/mmq	coesione non drenata
θ	34°		angolo di attrito interno
Ed	500 Kg/cm ²	49,03 N/mmq	modulo Edometrico
E	10000 Kg/cm ²	980,68 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	18000 Kg/cm ²	1566,08 N/mmq	modulo di taglio
K	120000 Kg/cm ²	11768,16 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	5 - 15 Kg/cm ²	49 - 147 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

- Aerogeneratore WTG-05:

Tabella 15: Parametri geotecnici dei depositi sabbiosi e sabbioso argillosi (da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,79 g/cm ³	17554,18 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,38		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	0,59 Kg/cm ²	0,057 N/mmq	coesione non drenata
θ	22°		angolo di attrito interno
Ed	275,80 Kg/cm ²	27,04 N/mmq	modulo Edometrico
E	5516,30 Kg/cm ²	540,97 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	2001,40 Kg/cm ²	198,27 N/mmq	modulo di taglio
K	7344,80 Kg/cm ²	739,91 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	2 - 4 Kg/cm ²	19,60 - 39,20 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 16: Parametri geotecnici dei depositi calcarenitici con grado di coesione medio-basso (da -4,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,98 g/cm ³	19417,47 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,31		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,21 Kg/cm ²	0,11 N/mmq	coesione non drenata
θ	30°		angolo di attrito interno
Ed	1136,10 Kg/cm ²	111,41 N/mmq	modulo Edometrico
E	22722,40 Kg/cm ²	217,09 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	8689,00 Kg/cm ²	852,11 N/mmq	modulo di taglio
K	19878,90 Kg/cm ²	1929,82 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	5 - 15 Kg/cm ²	49 - 147 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 17: Parametri geotecnici dei depositi calcarenitici con grado di coesione medio-alto (da -4,00 m dal p. c. in poi)			
Parametri fisici			
γ_n	2,30 g/cm ³	22555,85 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,30		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	2,33 Kg/cm ²	0,22 N/mmq	coesione non drenata
θ	41°		angolo di attrito interno
Ed	5000 Kg/cm ²	490,30 N/mmq	modulo Edometrico
E	100000 Kg/cm ²	9806,80 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	38000 Kg/cm ²	3530,45 N/mmq	modulo di taglio
K	130000 Kg/cm ²	12748,84 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	5 - 15 Kg/cm ²	49 - 147 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

- Aerogeneratore WTG-04:

Tabella 12: Parametri geotecnici delle sabbie calcaree poco cementate (da 0,00 m a -2,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,79 g/cm ³	17554,18 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,38		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	0,59 Kg/cm ²	0,057 N/mmq	coesione non drenata
θ	22°		angolo di attrito interno
Ed	275,80 Kg/cm ²	27,04 N/mmq	modulo Edometrico
E	5516,30 Kg/cm ²	540,97 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	2001,40 Kg/cm ²	198,27 N/mmq	modulo di taglio
K	7344,80 Kg/cm ²	739,91 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	2 - 4 Kg/cm ²	19,60 - 39,20 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 13: Parametri geotecnici delle sabbie argillose (da -2,00 m a -5,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	2,05 g/cm ³	20103,95 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,31		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,21 Kg/cm ²	0,11 N/mmq	coesione non drenata
θ	30°		angolo di attrito interno
Ed	1136,10 Kg/cm ²	111,41 N/mmq	modulo Edometrico
E	22722,40 Kg/cm ²	217,09 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	8689,00 Kg/cm ²	852,11 N/mmq	modulo di taglio
K	19878,90 Kg/cm ²	1929,82 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	2 - 4 Kg/cm ²	19,60 - 39,20 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 14: Parametri geotecnici dei depositi calcarenitici con grado di coesione medio-alto (da -5,00 m dal p. c. in poi)			
Parametri fisici			
γ_n	2,30 g/cm ³	22555,85 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,30		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	2,33 Kg/cm ²	0,22 N/mmq	coesione non drenata
θ	41°		angolo di attrito interno
Ed	5000 Kg/cm ²	490,30 N/mmq	modulo Edometrico
E	100000 Kg/cm ²	9806,80 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	38000 Kg/cm ²	3530,45 N/mmq	modulo di taglio
K	130000 Kg/cm ²	12748,84 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	5 - 15 Kg/cm ²	49 - 147 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

- Aerogeneratore WTG-06:

Tabella 18: Parametri geotecnici delle sabbie calcaree poco cementate (da 0,00 m a -3,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,79 g/cm ³	17554,18 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,38		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	0,59 Kg/cm ²	0,057 N/mmq	coesione non drenata
θ	22°		angolo di attrito interno
Ed	272,85 Kg/cm ²	26,76 N/mmq	modulo Edometrico
E	5457,20 Kg/cm ²	535,17 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	1977,30 Kg/cm ²	193,90 N/mmq	modulo di taglio
K	7577,00 Kg/cm ²	743,06 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	2 - 4 Kg/cm ²	19,60 - 39,20 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

Tabella 19: Parametri geotecnici delle sabbie calcaree poco cementate maggiormente addensate (da -3,00 m a -5,00 m dal p. c.)			
Parametri fisici			
γ_n	1,98 g/cm ³	19417,47 N/mc	peso di volume naturale
ν	0,27		coefficiente di Poisson
Parametri meccanici			
c_u	1,29 Kg/cm ²	0,12 N/mmq	coesione non drenata
θ	31°		angolo di attrito interno
Ed	1241,35 Kg/cm ²	121,73 N/mmq	modulo Edometrico
E	24827,00 Kg/cm ²	2434,73 N/mmq	modulo Elastico o di Young
G	9747,90 Kg/cm ²	955,95 N/mmq	modulo di taglio
K	18285,00 Kg/cm ²	1791,21 N/mmq	modulo di incompressibilità
Kw	2 - 4 Kg/cm ²	19,60 - 39,20 N/cm ²	Coefficiente di Winkler

In definitiva si assumono i seguenti modelli geotecnici.

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/m ³]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/m ³]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito fondazione-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [N/mmq]
ca	Adesione del terreno espressa in [N/mmq]
τ_t	Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [N/mmq]
α	Coeff. di espansione laterale

Descrizione	γ [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [N/mmq]	ca [N/mmq]
Sabbie calcaree debolmente cementate	17,500	21.00	21.00	0,0570	0,0285
ARGILLA 4 mt - inf - 1con basso grado di consolidazione	20,400	32.00	32.00	0,0000	0,0000
ARGILLA4mt-inf	20,400	0.00	0.00	0,1380	0,0690

Modello geotecnico aerogeneratori WTG01, WTG02

Descrizione	γ [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [N/mmq]	ca [N/mmq]
SABBIE CALC.DEB.CEM	17,500	22.00	22.00	0,0600	0,0300
DEP.CALC. COES.M.B.	20,000	30.00	30.00	0,1100	0,0550
Calcare COES. M.A.	22,000	34.00	34.00	0,1500	0,0750

Modello geotecnico aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
Ed	Modulo edometrico espresso in [N/mmq]
RR	Rapporto di ricomprensione
CR	Rapporto di compressione
OCR	Grado di sovraconsolidazione
E	Modulo elastico espresso in [N/mmq]
v	Coefficiente di Poisson

Descrizione	Ed [N/mmq]	RR	CR	OCR	E [N/mmq]	v
SABBIE CALC.DEB.CEM	29,000	0.0000	0.0000	0.0000	576,000	0.370
DEP.CALC. COES.M.B.	110,000	0.0000	0.0000	1.0000	2213,000	0.390
Calcare COES. M.A.	490	0.0000	0.0000	1.0000	9806,000	0.300

Descrizione stratigrafia adottata per il modello geotecnico e falda

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
Terreno	Terreno associato allo strato

N	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno	Ks	Kw [Kg/cm ² /cm]	α
1	-2,0	-2,0	-2,0	Sabbie calcaree debolmente cementate	0.000	0.000	1.000
2	-28,4	-28,4	-28,4	ARGILLA 4 mt - inf - 1con basso grado di consolidazione	0.700	1.500	1.000
3	-35,0	-35,0	-35,0	ARGILLA4mt-inf	0.700	1.500	1.000

Fondazioni profonde aerogeneratori WTG01, WTG02

N	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno
1	-2,0	-2,0	-2,0	SABBIE CALC.DEB.CEM
2	-5,0	-5,0	-5,0	DEP.CALC. COES.M.B.
3	-40,0	-40,0	-40,0	Calcare COES. M.A.

Fondazioni profonde aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Falda

Falda non presente

6.5 CARICHI

Convenzioni adottate

Carichi e reazioni vincolari

Fz	Carico verticale positivo verso il basso
Fx	Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.
Fy	Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.
Mx	Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.
My	Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

Sollecitazioni

Mx	Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).
My	Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).
Mxy	Momento flettente XY.

Condizioni di carico

Carichi concentrati

Simbologia adottata

Ic	Indice carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
Mx	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
My	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
Tx	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
Ty	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 - Permanenti torre [Permanente]

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]
Piastra	17,18	15,00	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,17	15,13	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,16	15,26	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,14	15,39	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,11	15,52	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,08	15,65	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,03	15,77	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,98	15,89	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,93	16,01	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,86	16,13	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,79	16,24	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,71	16,34	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,63	16,44	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,54	16,54	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,44	16,63	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,34	16,71	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,24	16,79	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,13	16,86	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,01	16,93	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,89	16,98	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,77	17,03	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,65	17,08	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,52	17,11	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,39	17,14	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,26	17,16	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,13	17,17	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,00	17,18	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]
Piastra	14,87	17,17	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,74	17,16	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,61	17,14	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,48	17,11	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,35	17,08	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,23	17,03	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,11	16,98	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,99	16,93	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,87	16,86	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,76	16,79	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,66	16,71	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,56	16,63	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,46	16,54	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,37	16,44	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,29	16,34	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,21	16,24	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,14	16,13	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,07	16,01	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,02	15,89	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,97	15,77	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,92	15,65	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,89	15,52	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,86	15,39	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,84	15,26	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,83	15,13	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,82	15,00	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,83	14,87	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,84	14,74	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,86	14,61	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,89	14,48	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,92	14,35	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	12,97	14,23	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,02	14,11	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,07	13,99	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,14	13,87	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,21	13,76	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,29	13,66	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,37	13,56	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,46	13,46	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,56	13,37	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,66	13,29	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,76	13,21	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,87	13,14	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	13,99	13,07	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,11	13,02	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,23	12,97	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,35	12,92	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,48	12,89	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,61	12,86	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,74	12,84	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	14,87	12,83	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,00	12,82	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,13	12,83	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,26	12,84	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,39	12,86	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,52	12,89	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,65	12,92	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,77	12,97	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	15,89	13,02	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,01	13,07	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,13	13,14	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,24	13,21	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,34	13,29	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,44	13,37	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,54	13,46	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,63	13,56	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,71	13,66	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,79	13,76	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,86	13,87	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,93	13,99	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	16,98	14,11	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,03	14,23	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,08	14,35	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,11	14,48	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,14	14,61	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,16	14,74	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000
Piastra	17,17	14,87	65,635	0,000	0,000	0,000	0,000

Condizione n° 2 - Estremi torre [Variabile - $\psi_0=1.00$ $\psi_1=0.90$ $\psi_2=0.80$]

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]
Piastra	17,18	15,00	1577,348	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,17	15,13	1574,471	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,16	15,26	1565,848	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,14	15,39	1551,511	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,11	15,52	1531,513	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,08	15,65	1505,927	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,03	15,77	1474,846	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,98	15,89	1438,384	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,93	16,01	1396,673	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,86	16,13	1349,865	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,79	16,24	1298,132	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,71	16,34	1241,663	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,63	16,44	1180,662	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,54	16,54	1115,354	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,44	16,63	1045,975	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,34	16,71	972,781	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,24	16,79	896,036	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,13	16,86	816,022	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,01	16,93	733,030	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,89	16,98	647,364	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,77	17,03	559,335	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,65	17,08	469,266	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,52	17,11	377,484	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,39	17,14	284,325	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,26	17,16	190,128	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,13	17,17	95,238	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,00	17,18	0,000	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,87	17,17	-95,238	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,74	17,16	-190,128	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,61	17,14	-284,325	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,48	17,11	-377,484	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,35	17,08	-469,266	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,23	17,03	-559,335	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,11	16,98	-647,364	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,99	16,93	-733,030	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,87	16,86	-816,022	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,76	16,79	-896,036	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,66	16,71	-972,781	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,56	16,63	-1045,975	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,46	16,54	-1115,354	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,37	16,44	-1180,662	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,29	16,34	-1241,663	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,21	16,24	-1298,132	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,14	16,13	-1349,865	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,07	16,01	-1396,673	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,02	15,89	-1438,384	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,97	15,77	-1474,846	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,92	15,65	-1505,927	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,89	15,52	-1531,513	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,86	15,39	-1551,511	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,84	15,26	-1565,848	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,83	15,13	-1574,471	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,82	15,00	-1577,348	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,83	14,87	-1574,471	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,84	14,74	-1565,848	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,86	14,61	-1551,511	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,89	14,48	-1531,513	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,92	14,35	-1505,927	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	12,97	14,23	-1474,846	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,02	14,11	-1438,384	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,07	13,99	-1396,673	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,14	13,87	-1349,865	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,21	13,76	-1298,132	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,29	13,66	-1241,663	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,37	13,56	-1180,662	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,46	13,46	-1115,354	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,56	13,37	-1045,975	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,66	13,29	-972,781	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,76	13,21	-896,036	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,87	13,14	-816,022	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	13,99	13,07	-733,030	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,11	13,02	-647,364	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,23	12,97	-559,335	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,35	12,92	-469,266	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,48	12,89	-377,484	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,61	12,86	-284,325	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,74	12,84	-190,128	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	14,87	12,83	-95,238	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,00	12,82	0,000	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,13	12,83	95,238	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,26	12,84	190,128	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,39	12,86	284,325	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,52	12,89	377,484	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,65	12,92	469,266	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,77	12,97	559,335	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	15,89	13,02	647,364	0,000	0,000	14,768	0,000

Oggetto	X [m]	Y [m]	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]
Piastra	16,01	13,07	733,030	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,13	13,14	816,022	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,24	13,21	896,036	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,34	13,29	972,781	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,44	13,37	1045,975	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,54	13,46	1115,354	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,63	13,56	1180,662	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,71	13,66	1241,663	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,79	13,76	1298,132	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,86	13,87	1349,865	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,93	13,99	1396,673	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	16,98	14,11	1438,384	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,03	14,23	1474,846	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,08	14,35	1505,927	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,11	14,48	1531,513	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,14	14,61	1551,511	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,16	14,74	1565,848	0,000	0,000	14,768	0,000
Piastra	17,17	14,87	1574,471	0,000	0,000	14,768	0,000

Peso terreno gravante sulla fondazione

Oggetto	Pt [kN]
Piastra 1	14270

Normativa - Coefficienti di sicurezza

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30
Variabili	Sfavorevole	γ_{Q1}	1.50
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1, fav}$	0.90

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00

Elenco combinazioni di calcolo

Numero combinazioni definite 4

Simbologia adottata

CP Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR - A1-M1-R3

Condizione	CP
Peso proprio, Peso terreno sulla piastra	1.30
Permanenti torre	1.30
Estremi torre	1.50

Combinazione n° 2 - SLE Quasi permanente

Condizione	CP
Peso proprio, Peso terreno sulla piastra	1.00
Permanenti torre	1.00
Estremi torre	0.80

Combinazione n° 3 - SLE Frequente

Condizione	CP
Peso proprio, Peso terreno sulla piastra	1.00
Permanenti torre	1.00
Estremi torre	0.90

Combinazione n° 4 - SLE Rara

Condizione	CP
Peso proprio, Peso terreno sulla piastra	1.00
Permanenti torre	1.00
Estremi torre	1.00

Impostazioni di analisi

Portanza fondazione superficiale

Metodo calcolo portanza: Hansen

Criterio di media calcolo strato equivalente: Ponderata

Riduzione portanza per effetto eccentricità: Meyerhof

Fattore di rigidità della sovrastruttura 0.00

6.6 DETTAGLI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE

Simbologia adottata

- Ic Indice combinazione
 Nc, Nq, N_γ coeff. di capacità portante
 N'_c, N'_q, N'_γ coeff. di capacità portante corretti (fattori di forma, di affondamento, ecc.)

Parametri strato equivalente terreno di progetto

- H Altezza cuneo di rottura, espresso in [m]
 γ Peso nell'unità di volume, espresso in [kN/mc]
 φ Angolo di attrito, espresso in [°]
 c Coesione, espressa in [N/mm²]

n°	Oggetto	Nc	N' _c	Nq	N' _q	Zc [m]	Pp [kN]	PI [kN]	A [kN]
1	Piastra 1	9.000	12.665	1.000	1.000	--	1376,02 1376,02	8712,00 8712,00	0,00
25	Piastra 1	9.000	12.665	1.000	1.000	--	1376,02 1376,02	8712,00 8712,00	0,00

Aerogeneratori WTG01, WTG02

Ic	Nc	N' _c	Nq	N' _q	N _γ	N' _γ	H [m]	γ [kN/mc]	φ [°]	c [N/mm ²]
1	41.02	40.11	28.34	27.22	27.34	18.11	19,85	21,8439	33.687	0,1469

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Fattori correttivi portanza

Simbologia adottata

n°	Indice combinazione
i_c, i_q, i_γ	Fattori di inclinazione del carico
d_c, d_q, d_γ	Fattori di profondità del piano di posa
g_c, g_q, g_γ	Fattori di inclinazione del profilo topografico
b_c, b_q, b_γ	Fattori di inclinazione del piano di posa
s_c, s_q, s_γ	Fattori di forma della fondazione
p_c, p_q, p_γ	Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic
$e_{\gamma k}, e_{\gamma i}$	Fattori di correzione secondo Cascone
r_γ	Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_\gamma N_\gamma$ viene moltiplicato per questo fattore

In tabella sono indicati con il simbolo '-' i coefficienti non presenti nel metodo scelto (Hansen).

n°	i_c i_q i_γ	d_c d_q d_γ	g_c g_q g_γ	b_c b_q b_γ	s_c s_q s_γ	p_c p_q p_γ	$e_{\gamma k}$ $e_{\gamma i}$	r_γ
1	0.890	1.065	1.000	1.000	--	--	--	0.743
	0.891	1.028	1.000	1.000	--	--	--	
	0.850	1.000	1.000	1.000	--	--	--	
5	0.845	1.065	1.000	1.000	--	--	--	0.743
	0.846	1.028	1.000	1.000	--	--	--	
	0.790	1.000	1.000	1.000	--	--	--	

7 PRINCIPALI VERIFICHE

7.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

Carico limite

Simbologia adottata

I_c	Indice combinazione
N	Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN]
N_p	Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN]
Q_u	Portanza ultima, espressa in [kN]
Q_{up}	Portanza ultima dei pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Q_d	Portanza di progetto $((Q_u + Q_{up})/\eta)$, espressa in [kN]
N_t	Carico totale verticale $(N + N_p)$, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza a carico limite (P_d/N_t)

I_c	n°	Oggetto	N [kN]	P_d [kN]	FS_v	T [kN]	T_d [kN]	FS_o
1	1	Piastra 1	2248,01	4574,45	2.035	64,27	142,90	2.223
	25	Piastra 1	4499,13	4574,45	1.017	64,46	142,90	2.217

Aerogeneratori WTG01, WTG02

I_c	N [kN]	N_p [kN]	Q_u [kN]	Q_{up} [kN]	Q_d [kN]	N_t [kN]	FS
1	51544,49	0,00	2734239,16	0,00	1188799,63	0,00	23.064

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Scorrimento

Simbologia adottata

T	Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN]
Ru	Resistenza ultima allo scorrimento del terreno, espresso in [kN]
Rup	Resistenza ultima allo scorrimento dei pali, espresso in [kN]
Td	Resistenza allo scorrimento di progetto $((R_u+R_{up})/\eta)$, espressa in [kN]
Tt	Carico orizzontale totale, espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza allo scorrimento (rapporto tra Td/Tt)

Ic	T [kN]	Ru [kN]	Rup [kN]	Rd [kN]	Tt [kN]	FS
1	2303,82	54600,69	0,00	49636,99	2303,82	21.546

7.2 VERIFICHE STRUTTURALI

Sollecitazioni massime e minime piastra

Simbologia adottata

Ic	Indice della combinazione
Mx	Momento X espresso in [kNm]
My	Momento Y espresso in [kNm]
Mxy	Momento XY espresso in [kNm]
Tx	Taglio X, espresso in [kN]
Ty	Taglio Y, espresso in [kN]
Nx	Tensione normale X espressa in [N/mm ²]
Ny	Tensione normale Y espressa in [N/mm ²]
Nxy	Tensione tangenziale XY espressa in [N/mm ²]

Tra parentesi l'indice del nodo in cui si sono misurati i valori massimi e minimi

Ic	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Nx [N/mm ²]	Ny [N/mm ²]	Nxy [N/mm ²]	
1	23425,27 (356)	15420,80 (306)	5040,69 (222)	0,048 (416)	0,037 (101)	0,036 (372)	MAX
	-14325,57 (210)	-6429,81 (236)	-5048,81 (304)	-0,048 (165)	-0,037 (588)	-0,036 (192)	MIN
2	13555,23 (356)	9294,73 (306)	2692,18 (222)	0,026 (416)	0,020 (101)	0,019 (372)	MAX
	-6590,26 (210)	-2362,73 (236)	-2697,95 (304)	-0,026 (165)	-0,020 (588)	-0,019 (192)	MIN
3	14816,85 (356)	10020,31 (306)	3027,15 (222)	0,029 (416)	0,022 (101)	0,021 (372)	MAX
	-7842,05 (210)	-3092,79 (236)	-3033,05 (304)	-0,029 (165)	-0,022 (588)	-0,021 (192)	MIN
4	16078,47 (356)	10745,88 (306)	3362,12 (222)	0,032 (416)	0,025 (101)	0,024 (372)	MAX
	-9093,84 (210)	-3822,84 (236)	-3368,15 (304)	-0,032 (165)	-0,025 (588)	-0,024 (192)	MIN

Aerogeneratori WTG01, WTG02

Ic	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Nx [N/mm ²]	Ny [N/mm ²]	Nxy [N/mm ²]	
1	19841,23 (346)	9619,29 (294)	4786,04 (198)	0,046 (344)	0,023 (112)	0,033 (374)	MAX
	-14922,85 (224)	-10962,64 (247)	-4779,19 (302)	-0,046 (172)	-0,023 (563)	-0,033 (176)	MIN
2	9692,45 (346)	5520,05 (294)	2449,57 (198)	0,024 (344)	0,012 (112)	0,018 (374)	MAX
	-8215,74 (224)	-5046,41 (247)	-2445,83 (302)	-0,025 (172)	-0,012 (563)	-0,018 (176)	MIN
3	10893,40 (346)	6088,13 (294)	2762,78 (198)	0,028 (344)	0,014 (112)	0,020 (374)	MAX
	-9480,91 (224)	-5876,48 (247)	-2758,47 (302)	-0,028 (172)	-0,014 (563)	-0,020 (176)	MIN
4	12381,69 (346)	6610,76 (294)	3121,66 (198)	0,031 (344)	0,015 (112)	0,022 (374)	MAX
	-10418,47 (224)	-6856,40 (247)	-3116,84 (302)	-0,031 (172)	-0,015 (563)	-0,022 (176)	MIN

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Verifica flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale, S: direzione secondaria)
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [mmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [mmq]
M _p	Momento positivo espresso in [kNm]
N _p	Sforzo positivo negativo espresso in [kN]
M _n	Momento negativo espresso in [kNm]
N _n	Sforzo normale negativo espresso in [kN]
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza

Combinazione n° 1

Is	Afi [mmq]	Afs [mmq]	Mp [kNm]	Np [kN]	Mn [kNm]	Nn [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
1-37-P	6434	3217	36,66	-2,44	-0,01	-2,44	1861,75	-124,01	50.790
2-35-P	32170	19302	283,95	3,52	-4,34	2,42	10209,77	126,55	35.957
3-40-P	32170	16085	588,85	2,95	0,00	0,00	13744,67	68,95	23.342
4-50-P	32170	20910	855,50	4,98	0,00	0,00	15006,31	87,27	17.541
5-49-P	32170	16889	1563,20	7,78	0,00	0,00	18137,29	90,32	11.603
6-53-P	32170	24127	2413,51	16,03	0,00	0,00	21100,75	140,12	8.743
7-57-P	32170	16889	3428,03	21,69	0,00	0,00	22465,55	142,12	6.553
8-56-P	32170	20106	5130,72	29,96	0,00	0,00	26932,37	157,27	5.249
9-60-P	32170	16085	6778,26	50,93	0,00	0,00	26738,66	200,91	3.945
10-56-P	32170	17693	10675,24	87,72	0,00	0,00	32275,85	265,23	3.023
11-60-P	32170	16085	12785,06	109,81	0,00	0,00	31077,16	266,93	2.431
12-41-P	32170	16085	0,00	0,00	-11752,47	-64,83	-21432,60	-118,24	1.824
13-41-P	32170	16085	0,00	0,00	-11567,50	-61,06	-21441,24	-113,19	1.854
14-59-P	32170	19302	13796,93	120,95	0,00	0,00	33496,78	293,65	2.428
15-56-P	32170	17693	10644,43	87,65	0,00	0,00	32276,45	265,79	3.032
16-60-P	32170	16085	6785,49	50,99	0,00	0,00	26738,66	200,92	3.941
17-56-P	32170	20106	5121,25	29,85	0,00	0,00	26932,12	157,00	5.259
18-57-P	32170	16889	3425,78	21,42	0,00	0,00	22464,53	140,49	6.558
19-53-P	32170	24127	2440,33	15,50	0,00	0,00	21096,21	133,99	8.645
20-49-P	32170	16889	1623,79	7,85	0,00	0,00	18136,00	87,71	11.169
21-50-P	32170	20910	869,40	5,12	0,00	0,00	15006,78	88,41	17.261
22-40-P	32170	16085	599,76	3,03	0,00	0,00	13744,81	69,43	22.917
23-35-P	32170	19302	285,57	3,50	-4,38	2,40	10209,52	125,31	35.752
24-37-P	6434	3217	37,09	-2,45	-0,01	-2,45	1861,95	-122,99	50.200
25-2-S	2463	2463	4,35	5,15	-0,91	5,15	1154,44	1364,95	265.202
26-53-S	1847	1847	6,42	2,67	-0,06	2,67	686,36	285,47	106.909
27-35-S	12315	12315	0,00	0,00	-151,54	35,70	-6278,06	1479,09	41.428
28-36-S	12315	12315	0,00	0,00	-292,57	44,91	-7966,61	1223,01	27.230
29-38-S	12315	13547	0,00	0,00	-521,09	46,34	-9140,68	812,93	17.541
30-43-S	12315	12315	0,00	0,00	-860,14	48,55	-9177,24	518,03	10.669
31-45-S	12315	13547	0,00	0,00	-1362,66	51,07	-11824,54	443,18	8.678
32-47-S	12315	14778	0,00	0,00	-2016,02	48,61	-13519,54	325,99	6.706
33-48-S	12315	12315	0,00	0,00	-2810,65	37,32	-12170,75	161,59	4.330
34-48-S	12315	16010	0,00	0,00	-4928,63	20,39	-21457,33	88,77	4.354
35-66-S	12315	12315	2062,89	4,45	-295,71	4,45	10380,12	22,38	5.032
36-60-S	12315	12315	3825,38	8,08	-641,50	8,08	12011,80	25,37	3.140
37-56-S	12315	16625	6627,10	-22,21	0,00	0,00	16419,01	-55,02	2.478
38-46-S	12315	12315	11067,73	-19,09	0,00	0,00	16416,12	-28,31	1.483
39-47-S	12315	16010	13005,19	-21,96	0,00	0,00	16458,89	-27,80	1.266
40-45-S	12315	12315	8184,15	-38,43	0,00	0,00	11914,00	-55,95	1.456
41-47-S	12315	14778	6049,95	-48,76	0,00	0,00	10929,36	-88,09	1.807
42-46-S	12315	14162	4584,30	-50,80	0,00	0,00	10252,78	-113,61	2.236
43-36-S	12315	12315	3119,79	-43,35	0,00	0,00	8308,83	-115,44	2.663
44-33-S	12315	15394	2081,56	-41,06	0,00	0,00	7022,64	-138,54	3.374
45-42-S	12315	14162	1447,31	-41,26	0,00	0,00	6660,54	-189,90	4.602
46-39-S	12315	12315	873,73	-35,82	0,00	0,00	5358,88	-219,70	6.133
47-22-S	12315	14778	459,70	-31,91	0,00	0,00	4372,78	-303,51	9.512
48-26-S	11084	11084	233,39	-27,30	-0,06	-11,02	3318,25	-388,08	14.218

Aerogeneratori WTG01, WTG02

Is	Afi [mmq]	Afs [mmq]	Mp [kNm]	Np [kN]	Mn [kNm]	Nn [kN]	M _u [kNm]	N _u [kN]	FS
1-8-P	21715	10455	20,01	2,50	-25,63	2,50	-3414,49	333,59	133.221
2-13-P	32170	16085	33,64	3,77	-47,83	3,77	-5212,10	410,96	108.962
3-24-P	32170	16085	104,39	1,84	-131,13	1,84	-7247,92	101,98	55.273
4-19-P	32170	16085	31,60	1,42	-195,67	1,42	-7220,12	52,37	36.899
5-28-P	32170	16085	90,16	-1,50	-424,34	-1,50	-9306,54	-32,93	21.932
6-24-P	32170	16889	0,00	0,00	-646,70	-6,35	-9724,53	-95,48	15.037
7-30-P	32170	16085	0,00	0,00	-1182,10	-12,90	-11357,90	-123,94	9.608
8-27-P	32170	16889	0,00	0,00	-1547,43	-24,15	-11872,80	-185,28	7.673
9-33-P	32170	16085	0,00	0,00	-2916,52	-41,72	-13402,90	-191,75	4.596
10-38-P	32170	16889	0,00	0,00	-4978,56	-78,55	-16211,72	-255,79	3.256
11-36-P	32170	16085	0,00	0,00	-6594,41	-103,33	-15446,34	-242,02	2.342
12-41-P	32170	16085	0,00	0,00	-12494,90	-59,95	-21458,77	-102,95	1.717
13-41-P	32170	16085	0,00	0,00	-12330,40	-56,78	-21465,80	-98,85	1.741
14-36-P	32170	16085	0,00	0,00	-6580,55	-103,64	-15444,83	-243,25	2.347
15-38-P	32170	16889	0,00	0,00	-5005,23	-78,31	-16214,29	-253,70	3.239
16-33-P	32170	16085	0,00	0,00	-2927,48	-41,75	-13403,55	-191,14	4.579
17-27-P	32170	16889	0,00	0,00	-1552,57	-24,16	-11873,30	-184,73	7.648
18-30-P	32170	16085	0,00	0,00	-1184,25	-12,91	-11358,01	-123,82	9.591
19-24-P	32170	16889	0,00	0,00	-647,79	-6,37	-9724,47	-95,55	15.012
20-28-P	32170	16085	90,63	-1,52	-424,58	-1,52	-9306,23	-33,35	21.919
21-19-P	32170	16085	31,69	1,41	-195,87	1,41	-7219,92	52,02	36.861
22-24-P	32170	16085	104,84	1,84	-130,95	1,84	-7247,78	101,73	55.348
23-13-P	32170	16085	33,77	3,77	-47,82	3,77	-5211,99	410,67	108.992
24-8-P	21715	10455	20,08	2,50	-25,64	2,50	-3414,37	333,30	133.183
25-20-S	12315	12315	0,00	4,12	-108,73	20,38	-4146,63	777,07	38.137
26-27-S	12315	12315	0,00	0,00	-222,21	22,78	-4724,40	484,28	21.261
27-32-S	12315	12315	0,00	0,00	-423,03	26,29	-5674,55	352,64	13.414
28-36-S	12315	12315	0,00	0,00	-784,62	32,42	-7320,20	302,50	9.330
29-38-S	12315	13547	0,00	0,00	-1235,75	33,89	-8702,94	238,66	7.043
30-43-S	12315	12315	0,00	0,00	-1801,85	36,19	-8885,81	178,48	4.931
31-45-S	12315	13547	0,00	0,00	-2623,45	40,00	-11554,76	176,19	4.404
32-47-S	12315	14778	0,00	0,00	-3603,88	39,17	-13325,88	144,83	3.698
33-48-S	12315	12315	0,00	0,00	-5166,59	29,85	-12063,37	69,69	2.335
34-48-S	12315	16010	0,00	0,00	-8966,63	14,40	-21371,25	34,32	2.383
35-50-S	12315	12315	0,00	0,00	-6675,22	14,74	-16521,30	36,47	2.475
36-36-S	12315	12315	1278,02	6,80	-2436,27	6,80	-12021,16	33,56	4.934
37-60-S	12315	12315	1544,01	-7,72	-1804,32	-7,72	-11920,29	-51,02	6.607
38-46-S	12315	12315	5572,23	-14,37	0,00	0,00	16392,89	-42,29	2.942
39-47-S	12315	16010	7620,85	-15,77	0,00	0,00	16448,46	-34,03	2.158
40-45-S	12315	12315	4384,25	-30,71	0,00	0,00	11880,88	-83,23	2.710
41-47-S	12315	14778	3004,32	-39,24	0,00	0,00	10868,89	-141,96	3.618
42-46-S	12315	14162	1981,42	-39,91	0,00	0,00	10156,75	-204,56	5.126
43-40-S	12315	12315	1135,10	-36,36	0,00	0,00	8490,85	-272,00	7.480
44-41-S	12315	14162	642,48	-33,59	0,00	0,00	7459,54	-390,04	11.610
45-37-S	12315	12931	338,26	-32,24	0,00	0,00	6650,91	-633,94	19.662
46-32-S	12315	12315	116,79	-26,34	0,00	-21,14	4865,79	-1097,30	41.661
47-35-S	12315	14778	50,03	-20,31	-2,87	-20,31	3563,77	-1446,67	71.238
48-31-S	8005	8005	16,10	-12,28	-0,75	-12,28	1925,47	-1468,31	119.582

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Verifica a punzonamento

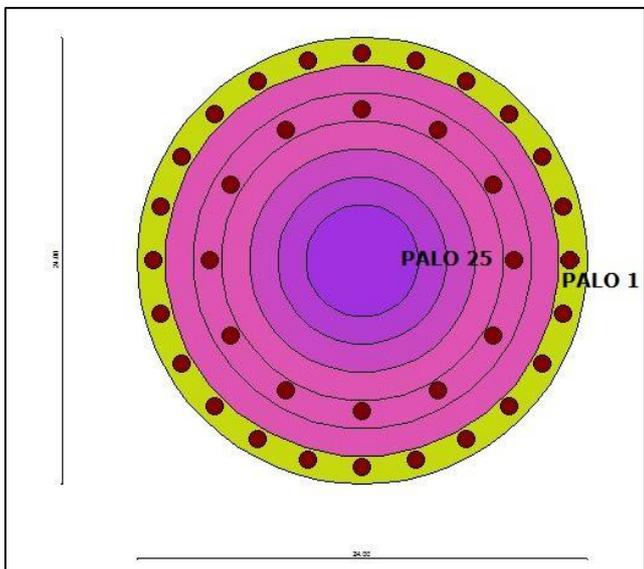
Simbologia adottata

OP	Oggetto che viene punzonato
P	Oggetto che punzona
c ₁ , c ₂	Dimensioni pilastro nelle due direzioni, espressa in [mm]
d	Altezza utile della fondazione, espressa in [mm]
u ₀	Lunghezza perimetro di verifica a faccia pilastro, espresso in [mm]
u ₁	Lunghezza perimetro di verifica per effetto della diffusione, espresso in [mm]
ρ _y , ρ _z	Percentuali di armatura piastra in zona tesa
dpc, duc	distanza della prima e dell'ultima cucitura dalla faccia del pilastro
V _{Ed,i}	Tensione di taglio sul perimetro del pilastro, espressa in [N/mmq]
V _{Rd,max}	Valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente, espressa in [N/mmq]
V _{Ed,f}	Tensione di taglio sul perimetro di verifica u ₁ , espresso in [N/mmq]
V _{Rd,cf}	Valore di progetto del taglio-punzonamento resistente senza armature sul perimetro di verifica u ₁ , espresso in [N/mmq]
V _{Rd,cs}	Valore di progetto del taglio-punzonamento resistente con armature, espresso in [N/mmq]
nsc	Numero di serie di cuciture
nc	Numero di cuciture
FS	Fattore di sicurezza (minore tra i rapporti V _{Rd,max} /V _{Ed,i} , V _{Rd,cf} /V _{Ed,f} e V _{Rd,cs} /V _{Ed,i})

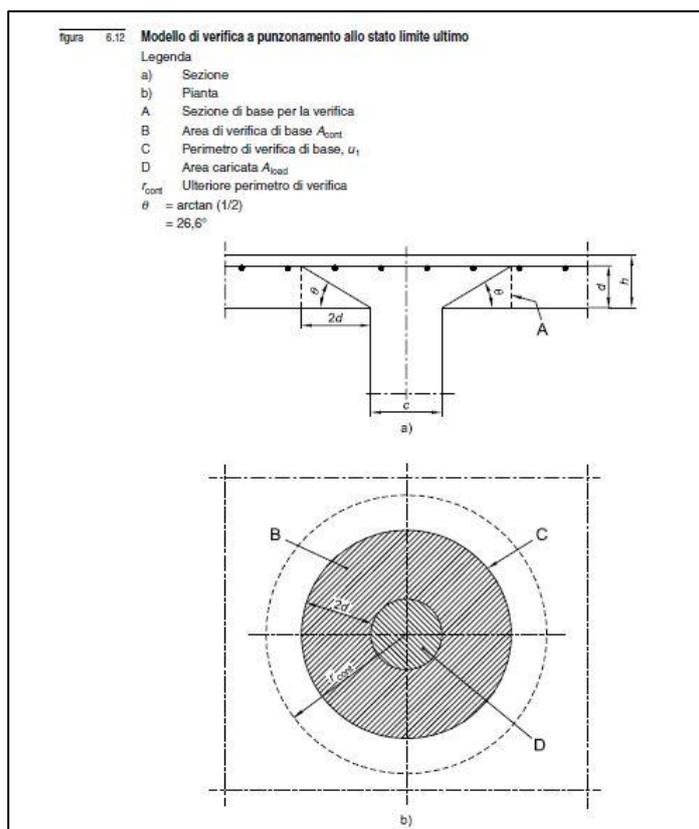
Secondo quanto disposto dal D.M. 17/01/2018 (nonché da EC 1992 – 2005), per la VERIFICA A PUNZONAMENTO di strutture non armate a punzonamento deve verificarsi:

$$V_{ed} < V_{rd,c};$$

Nel caso in esame la verifica sarà condotta sui pali n° 1 e 25 come da figura seguente:



sui perimetri indicati in Eurocodice 2 UNI-EN 1992-1-1.



Nel caso in questione per il PUNZONAMENTO DEI PALI SULLA PIASTRA la verifica condotta sul perimetro di confine fra le zone di influenza dei pali posti ad interasse pari a 3 diametri fornisce:

PALO 25

CALCOLO DEL TAGLIO-PUNZONAMENTO AGENTE

$d_{ut}=1750$ mm (in corrispondenza del palo 25)

$$u = \pi * (1000 + 2d_{ut} + 2d_{ut}) = \pi * 8000 = 25120 \text{ mm}$$

$$e = 153/4500 = 0,034 \text{ mt} = 34 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 + 0.6 \pi e / (D + 4 d_{ut}) = 1.00$$

$N_{ED} = 4500000$ N (PALO 25)

$$V_{ED} = \beta N_{ED} / (u d_{ut}) = 0.102 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DEL TAGLIO-PUNZONAMENTO RESISTENTE

$$V_{rd,c} = C_{rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} = (0,18 / 1,5) * 1.35 * (100 * 0.003 * 35)^{1/3} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{rd,c} > v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0.33$$

$$k = 1 + v(200/d) = 1.35$$

$$C_{rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.12$$

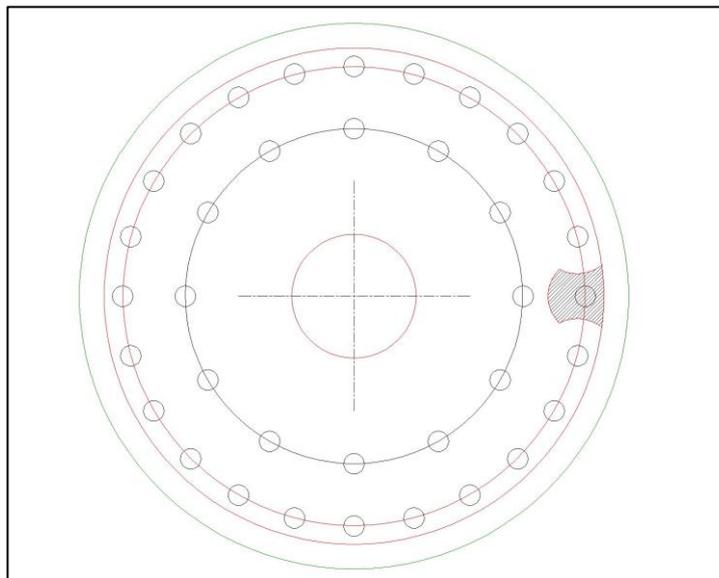
$$\rho_l = v \rho_{ly} \rho_{lz} = 3.0 * 10^{-3} < 0.02 \text{ (percentuale di armatura tesa)}$$

Sussiste dunque la disuguaglianza $V_{ed} < V_{rd,c} \Rightarrow$ FATTORE DI SICUREZZA = $0.35 / 0.102 = 3.43$

PALO 1

CALCOLO DEL TAGLIO-PUNZONAMENTO AGENTE

$d_{ut}=1055$ mm (in corrispondenza del palo 1)



$u = 7300$ mm (considerando il perimetro di verifica in figura per tener conto delle mutue influenze)

$$e = 153/2250 = 0,068 \text{ mt} = 68 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 + 0.6 \pi e / (D + 4 d_{ut}) = 1.02$$

$$N_{ED} = 2250 \text{ N (PALO 1)}$$

$$V_{ED} = \beta N_{ED} / (u d_{ut}) = 0.30 \text{ N/mm}^2$$

CALCOLO DEL TAGLIO-PUNZONAMENTO RESISTENTE

$$V_{rd,c} = C_{rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} = (0,18 / 1,5) * 1.35 * (100 * 0.003 * 35)^{1/3} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{rd,c} > v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} = 0.33$$

$$k = 1 + v(200/d) = 1.35$$

$$C_{rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.12$$

$$\rho_l = v \rho_{ly} \rho_{lz} = 3.0 * 10^{-3} < 0.02 \text{ (percentuale di armatura tesa)}$$

Sussiste dunque la disuguaglianza $V_{ed} < V_{rd,c} \Rightarrow$ FATTORE DI SICUREZZA = $0.35/0.30 = 1.17$

Per il PUNZONAMENTO DELLA TORRE SUL BLOCCO DI FONDAZIONE:

Combinazione n° 1

OP	P	V _{Ed,i} [N/mm ²]	V _{Rd,max} [N/mm ²]	V _{Ed,f} [N/mm ²]	V _{Rd,cf} [N/mm ²]	V _{Rd,cs} [N/mm ²]	FS
Piastra n° 1	17,18; 15,00	5,062	5,291	0,136	0,295	0,000	1.045
Piastra n° 1	17,16; 15,26	5,050	5,291	0,136	0,295	0,000	1.048
Piastra n° 1	17,14; 15,39	5,034	5,291	0,135	0,295	0,000	1.051
Piastra n° 1	17,11; 15,52	5,013	5,291	0,135	0,295	0,000	1.056
Piastra n° 1	17,08; 15,65	4,985	5,291	0,134	0,295	0,000	1.061
Piastra n° 1	17,03; 15,77	4,951	5,291	0,133	0,295	0,000	1.069
Piastra n° 1	16,98; 15,89	4,912	5,291	0,132	0,295	0,000	1.077
Piastra n° 1	16,93; 16,01	4,867	5,291	0,131	0,295	0,000	1.087
Piastra n° 1	16,86; 16,13	4,817	5,291	0,129	0,295	0,000	1.099
Piastra n° 1	16,79; 16,24	4,761	5,291	0,128	0,295	0,000	1.111
Piastra n° 1	16,71; 16,34	4,700	5,291	0,126	0,295	0,000	1.126
Piastra n° 1	16,63; 16,44	4,634	5,291	0,125	0,295	0,000	1.142
Piastra n° 1	16,54; 16,54	4,563	5,291	0,123	0,295	0,000	1.159
Piastra n° 1	16,44; 16,63	4,488	5,291	0,121	0,295	0,000	1.179
Piastra n° 1	16,34; 16,71	4,409	5,291	0,118	0,295	0,000	1.200
Piastra n° 1	16,24; 16,79	4,327	5,291	0,116	0,295	0,000	1.223
Piastra n° 1	16,13; 16,86	4,240	5,291	0,114	0,295	0,000	1.248
Piastra n° 1	16,01; 16,93	4,151	5,291	0,112	0,295	0,000	1.275
Piastra n° 1	15,89; 16,98	4,058	5,291	0,109	0,295	0,000	1.304
Piastra n° 1	15,77; 17,03	3,963	5,291	0,106	0,295	0,000	1.335
Piastra n° 1	15,65; 17,08	3,866	5,291	0,104	0,295	0,000	1.369
Piastra n° 1	15,52; 17,11	3,767	5,291	0,101	0,295	0,000	1.405
Piastra n° 1	15,39; 17,14	3,666	5,291	0,099	0,295	0,000	1.443
Piastra n° 1	15,26; 17,16	3,564	5,291	0,096	0,295	0,000	1.484
Piastra n° 1	15,13; 17,17	3,462	5,291	0,093	0,295	0,000	1.528
Piastra n° 1	15,00; 17,18	3,359	5,291	0,090	0,295	0,000	1.575
Piastra n° 1	14,87; 17,17	3,256	5,291	0,088	0,295	0,000	1.625
Piastra n° 1	14,74; 17,16	3,154	5,291	0,085	0,295	0,000	1.678
Piastra n° 1	14,61; 17,14	3,052	5,291	0,082	0,295	0,000	1.734
Piastra n° 1	14,48; 17,11	2,952	5,291	0,079	0,295	0,000	1.793
Piastra n° 1	14,35; 17,08	2,852	5,291	0,077	0,295	0,000	1.855
Piastra n° 1	14,23; 17,03	2,755	5,291	0,074	0,295	0,000	1.920
Piastra n° 1	14,11; 16,98	2,660	5,291	0,071	0,295	0,000	1.989
Piastra n° 1	13,99; 16,93	2,568	5,291	0,069	0,295	0,000	2.061
Piastra n° 1	13,87; 16,86	2,478	5,291	0,067	0,295	0,000	2.135
Piastra n° 1	13,76; 16,79	2,392	5,291	0,064	0,295	0,000	2.212
Piastra n° 1	13,66; 16,71	2,309	5,291	0,062	0,295	0,000	2.292
Piastra n° 1	13,56; 16,63	2,230	5,291	0,060	0,295	0,000	2.373
Piastra n° 1	13,46; 16,54	2,155	5,291	0,058	0,295	0,000	2.455
Piastra n° 1	13,37; 16,44	2,084	5,291	0,056	0,295	0,000	2.538
Piastra n° 1	13,29; 16,34	2,019	5,291	0,054	0,295	0,000	2.621
Piastra n° 1	13,21; 16,24	1,958	5,291	0,053	0,295	0,000	2.703
Piastra n° 1	13,14; 16,13	1,902	5,291	0,051	0,295	0,000	2.782
Piastra n° 1	13,07; 16,01	1,851	5,291	0,050	0,295	0,000	2.858
Piastra n° 1	13,02; 15,89	1,806	5,291	0,049	0,295	0,000	2.930
Piastra n° 1	12,97; 15,77	1,767	5,291	0,047	0,295	0,000	2.995
Piastra n° 1	12,92; 15,65	1,733	5,291	0,047	0,295	0,000	3.053
Piastra n° 1	12,89; 15,52	1,706	5,291	0,046	0,295	0,000	3.102
Piastra n° 1	12,86; 15,39	1,684	5,291	0,045	0,295	0,000	3.142
Piastra n° 1	12,84; 15,26	1,669	5,291	0,045	0,295	0,000	3.171

OP	P	V _{Ed,i} [N/mm ²]	V _{Rd,max} [N/mm ²]	V _{Ed,f} [N/mm ²]	V _{Rd,cf} [N/mm ²]	V _{Rd,cs} [N/mm ²]	FS
Piastra n° 1	12,83; 15,13	1,659	5,291	0,045	0,295	0,000	3.189
Piastra n° 1	12,82; 15,00	1,656	5,291	0,045	0,295	0,000	3.195
Piastra n° 1	12,83; 14,87	1,659	5,291	0,045	0,295	0,000	3.189
Piastra n° 1	12,84; 14,74	1,669	5,291	0,045	0,295	0,000	3.171
Piastra n° 1	12,86; 14,61	1,684	5,291	0,045	0,295	0,000	3.142
Piastra n° 1	12,89; 14,48	1,706	5,291	0,046	0,295	0,000	3.102
Piastra n° 1	12,92; 14,35	1,733	5,291	0,047	0,295	0,000	3.053
Piastra n° 1	12,97; 14,23	1,767	5,291	0,047	0,295	0,000	2.995
Piastra n° 1	13,02; 14,11	1,806	5,291	0,049	0,295	0,000	2.930
Piastra n° 1	13,07; 13,99	1,851	5,291	0,050	0,295	0,000	2.858
Piastra n° 1	13,14; 13,87	1,902	5,291	0,051	0,295	0,000	2.782
Piastra n° 1	13,21; 13,76	1,958	5,291	0,053	0,295	0,000	2.703
Piastra n° 1	13,29; 13,66	2,019	5,291	0,054	0,295	0,000	2.621
Piastra n° 1	13,37; 13,56	2,084	5,291	0,056	0,295	0,000	2.538
Piastra n° 1	13,46; 13,46	2,155	5,291	0,058	0,295	0,000	2.455
Piastra n° 1	13,56; 13,37	2,230	5,291	0,060	0,295	0,000	2.373
Piastra n° 1	13,66; 13,29	2,309	5,291	0,062	0,295	0,000	2.292
Piastra n° 1	13,76; 13,21	2,392	5,291	0,064	0,295	0,000	2.212
Piastra n° 1	13,87; 13,14	2,478	5,291	0,067	0,295	0,000	2.135
Piastra n° 1	13,99; 13,07	2,568	5,291	0,069	0,295	0,000	2.061
Piastra n° 1	14,11; 13,02	2,660	5,291	0,071	0,295	0,000	1.989
Piastra n° 1	14,23; 12,97	2,755	5,291	0,074	0,295	0,000	1.920
Piastra n° 1	14,35; 12,92	2,852	5,291	0,077	0,295	0,000	1.855
Piastra n° 1	14,48; 12,89	2,952	5,291	0,079	0,295	0,000	1.793
Piastra n° 1	14,61; 12,86	3,052	5,291	0,082	0,295	0,000	1.734
Piastra n° 1	14,74; 12,84	3,154	5,291	0,085	0,295	0,000	1.678
Piastra n° 1	14,87; 12,83	3,256	5,291	0,088	0,295	0,000	1.625
Piastra n° 1	15,00; 12,82	3,359	5,291	0,090	0,295	0,000	1.575
Piastra n° 1	15,13; 12,83	3,462	5,291	0,093	0,295	0,000	1.528
Piastra n° 1	15,26; 12,84	3,564	5,291	0,096	0,295	0,000	1.484
Piastra n° 1	15,39; 12,86	3,666	5,291	0,099	0,295	0,000	1.443
Piastra n° 1	15,52; 12,89	3,767	5,291	0,101	0,295	0,000	1.405
Piastra n° 1	15,65; 12,92	3,866	5,291	0,104	0,295	0,000	1.369
Piastra n° 1	15,77; 12,97	3,963	5,291	0,106	0,295	0,000	1.335
Piastra n° 1	15,89; 13,02	4,058	5,291	0,109	0,295	0,000	1.304
Piastra n° 1	16,01; 13,07	4,151	5,291	0,112	0,295	0,000	1.275
Piastra n° 1	16,13; 13,14	4,240	5,291	0,114	0,295	0,000	1.248
Piastra n° 1	16,24; 13,21	4,327	5,291	0,116	0,295	0,000	1.223
Piastra n° 1	16,34; 13,29	4,409	5,291	0,118	0,295	0,000	1.200
Piastra n° 1	16,44; 13,37	4,488	5,291	0,121	0,295	0,000	1.179
Piastra n° 1	16,54; 13,46	4,563	5,291	0,123	0,295	0,000	1.159
Piastra n° 1	16,63; 13,56	4,634	5,291	0,125	0,295	0,000	1.142
Piastra n° 1	16,71; 13,66	4,700	5,291	0,126	0,295	0,000	1.126
Piastra n° 1	16,79; 13,76	4,761	5,291	0,128	0,295	0,000	1.111
Piastra n° 1	16,86; 13,87	4,817	5,291	0,129	0,295	0,000	1.099
Piastra n° 1	16,93; 13,99	4,867	5,291	0,131	0,295	0,000	1.087
Piastra n° 1	16,98; 14,11	4,912	5,291	0,132	0,295	0,000	1.077
Piastra n° 1	17,03; 14,23	4,951	5,291	0,133	0,295	0,000	1.069
Piastra n° 1	17,08; 14,35	4,985	5,291	0,134	0,295	0,000	1.061
Piastra n° 1	17,11; 14,48	5,013	5,291	0,135	0,295	0,000	1.056
Piastra n° 1	17,14; 14,61	5,034	5,291	0,135	0,295	0,000	1.051
Piastra n° 1	17,16; 14,74	5,050	5,291	0,136	0,295	0,000	1.048

7.3 VERIFICA EQUILIBRIO DI CORPO RIGIDO

Per lo Stato Limite Ultimo di Equilibrio come corpo rigido della fondazione della recinzione si utilizzano i coefficienti della colonna EQU della tabella 2.6.I di [IX].

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_f			
Carichi permanenti G ₁	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G ₂ ⁽¹⁾	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Si effettua la verifica nei confronti dello stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU) assumendo i coefficienti della colonna EQU della tab. 2.6.I riportata precedentemente.

Pertanto:

Peso proprio struttura in elevazione: 6826 kN

Peso proprio fondazione: 16991,32 kN

Peso terreno rinterro: 14270 kN

$M_{RIB}=1,5 (178398,10+1535,88 \cdot 3,55)=275775,71$ kNm (momento ribaltante)

$M_{STAB}=0,9 (6826+16991,32+14270) \cdot 24,00/2=411343$ kNm (momento stabilizzante)

$FS= M_{STAB} / M_{RIB}= 1,49$

7.4 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Dalla lettura delle specifiche normative tecniche (§ 6.4.3.2. di [XI]) si evince che, completata la verifica agli SLU, occorre analizzare il comportamento dei pali nelle condizioni di esercizio in relazione alle opportune combinazioni di carico evidenziate nel § 4.3 della presente relazione.

Specificamente, "si devono calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione".

Pertanto, la struttura della fondazione in oggetto è stata stabilita nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra struttura e terreno .

Cedimenti

Simbologia adottata

Oggetto	Oggetto al quale appartiene il punto di calcolo
X, Y	Coordinate punto in cui è stato calcolato il cedimento, espresso in [m]
w	Cedimento, espresso in [mm]
n°	numero palo

FONDAZIONI SU PALI

Combinazione n° 4

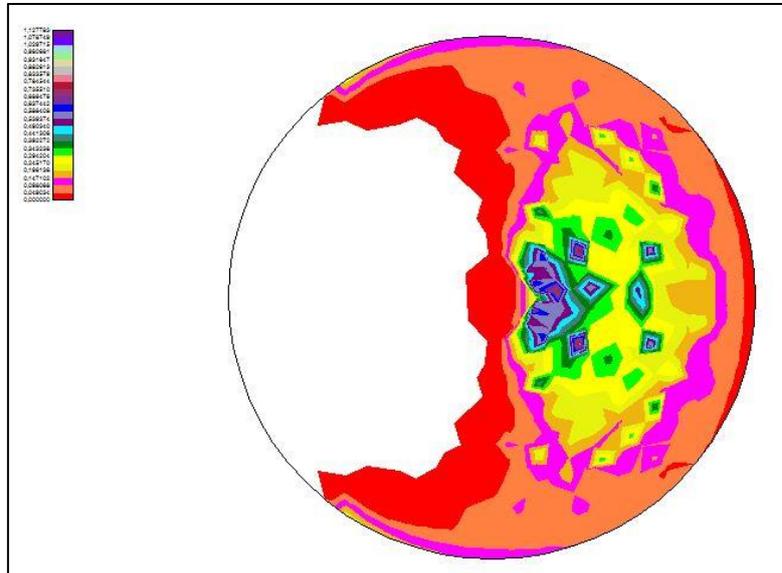
n°	w [mm]
1	1,635
25	3,217

FONDAZIONI SUPERFICIALI DIRETTE

Combinazione n° 4

Oggetto	X [m]	Y [m]	w [mm]
Piastra n° 1	27,00	15,00	0,118
Piastra n° 1	26,94	16,18	0,119
Piastra n° 1	26,77	17,34	0,120
Piastra n° 1	26,48	18,48	0,122
Piastra n° 1	26,09	19,59	0,123
Piastra n° 1	25,58	20,66	0,125
Piastra n° 1	24,98	21,67	0,126
Piastra n° 1	24,28	22,61	0,128
Piastra n° 1	23,49	23,49	0,127
Piastra n° 1	22,61	24,28	0,131
Piastra n° 1	21,67	24,98	0,131
Piastra n° 1	20,66	25,58	0,132
Piastra n° 1	19,59	26,09	0,134
Piastra n° 1	18,48	26,48	0,136
Piastra n° 1	17,34	26,77	0,139
Piastra n° 1	16,18	26,94	0,141
Piastra n° 1	15,00	27,00	0,143
Piastra n° 1	13,82	26,94	0,144
Piastra n° 1	12,66	26,77	0,144
Piastra n° 1	11,52	26,48	0,145
Piastra n° 1	10,41	26,09	0,147
Piastra n° 1	9,34	25,58	0,154
Piastra n° 1	8,33	24,98	0,169
Piastra n° 1	7,39	24,28	0,036
Piastra n° 1	6,51	23,49	0,028
Piastra n° 1	5,72	22,61	0,024
Piastra n° 1	5,02	21,67	0,023
Piastra n° 1	4,42	20,66	0,021
Piastra n° 1	3,91	19,59	0,020
Piastra n° 1	3,52	18,48	0,020
Piastra n° 1	3,23	17,34	0,019
Piastra n° 1	3,06	16,18	0,019
Piastra n° 1	3,00	15,00	0,019
Piastra n° 1	3,06	13,82	0,019
Piastra n° 1	3,23	12,66	0,019
Piastra n° 1	3,52	11,52	0,020
Piastra n° 1	3,91	10,41	0,020
Piastra n° 1	4,42	9,34	0,021
Piastra n° 1	5,02	8,33	0,023
Piastra n° 1	5,72	7,39	0,024
Piastra n° 1	6,51	6,51	0,028
Piastra n° 1	7,39	5,72	0,036
Piastra n° 1	8,33	5,02	0,169
Piastra n° 1	9,34	4,42	0,154
Piastra n° 1	10,41	3,91	0,146
Piastra n° 1	11,52	3,52	0,145
Piastra n° 1	12,66	3,23	0,144
Piastra n° 1	13,82	3,06	0,144
Piastra n° 1	15,00	3,00	0,143
Piastra n° 1	16,18	3,06	0,141
Piastra n° 1	17,34	3,23	0,139
Piastra n° 1	18,48	3,52	0,136
Piastra n° 1	19,59	3,91	0,134
Piastra n° 1	20,66	4,42	0,132
Piastra n° 1	21,67	5,02	0,131
Piastra n° 1	22,61	5,72	0,130
Piastra n° 1	23,49	6,51	0,127
Piastra n° 1	24,28	7,39	0,128
Piastra n° 1	24,98	8,33	0,126
Piastra n° 1	25,58	9,34	0,124
Piastra n° 1	26,09	10,41	0,123
Piastra n° 1	26,48	11,52	0,121
Piastra n° 1	26,77	12,66	0,120
Piastra n° 1	26,94	13,82	0,119
Piastra n° 1	15,00	15,00	0,391

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06



Spostamenti verticali "w" Combinazione caratteristica o rara Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Risultati Analisi			
Numero combinazioni		4	(t = 24,000 sec.)
Analisi carichi verticali		Analisi carichi orizzontali	
Carico Totale	39649,6086 [kN]		
Reazioni vincolari	0,0000 [kN]		
Risultante pali	---		
Reazione terreno	39649,6086 [kN]		
Spostamento massimo	0,77239 [mm]	X=19,49	Y=14,56 [m]
Spostamento minimo	-0,87180 [mm]	X=7,09	Y=7,09 [m]
Momento massimo X	12381,6859 [kNm]	X=16,98	Y=15,28 [m]
Momento minimo X	-10418,4717 [kNm]	X=13,02	Y=14,72 [m]
Momento massimo Y	6610,7599 [kNm]	X=17,00	Y=15,00 [m]
Momento minimo Y	-6856,4031 [kNm]	X=13,00	Y=15,14 [m]
Dettagli >>			
Spostamento differenziale massimo		1,64 [mm]	0,01%
<< Comb. 4 / 4 - SLER >>		Chiudi	Help

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

Il cedimento differenziale massimo è contenuto in valori compatibili con l'utilizzo della struttura in elevazione come risulta dal documento "D2431696-002 SGRE ON SG 6.0-170 Foundation Requirements Document T115-52A-WTC - D023-P037-T02_02 - Foundation" punto 3.8.3.

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale S: direzione secondaria)
As	Area di armatura all'interno dell'area efficace, espresso in [mmq]
Ac	Area efficace, espresso in [mmq]
Mpf	Momento di prima fessurazione, espresso in [kNm]
Npf	Sforzo normale di prima fessurazione, espresso in [kN]
Eps	Deformazione unitaria media, espresso in [%]
sm	Distanza tra le fessure, espressa in [mm]
wm	Ampiezza della fessura, espressa in [mm]

Combinazione n° 2

Is	As [mmq]	Ac [mmq]	Mpf [kNm]	Npf [kN]	Eps [%]	sm [mm]	wm [mm]
1-1	3217	13587	-251,21	236,64	0,0000	0,00	0.000

Combinazione n° 3

Is	As [mmq]	Ac [mmq]	Mpf [kNm]	Npf [kN]	Eps [%]	sm [mm]	wm [mm]
40-45	12315	125000	5331,42	-22,92	0,0784	101,88	0.136

Aerogeneratori WTG01, WTG02

Combinazione n° 2

Is	As [mmq]	Ac [mmq]	Mpf [kNm]	Npf [kN]	Eps [%]	sm [mm]	wm [mm]
1-1	3217	13587	-195,19	49,48	0,0000	0,00	0.000

Combinazione n° 3

Is	As [mmq]	Ac [mmq]	Mpf [kNm]	Npf [kN]	Eps [%]	sm [mm]	wm [mm]
1-1	3217	13587	-195,19	49,48	0,0000	0,00	0.000

Aerogeneratori WTG03, WTG04, WTG05, WTG06

7.5 VALUTAZIONE DELLA RIGIDEZZA ROTAZIONALE DINAMICA (DRS)

Si riporta a seguire la valutazione della rigidezza rotazionale dinamica e la relativa verifica rispetto al valore minimo richiesto dal fabbricante della torre. La rigidezza rotazionale dinamica è assunta pari a:

$$K_r = 8 G_{dyn} R^3 / [3 (1-\nu)] \text{ ove:}$$

- G_{dyn} = modulo a taglio dinamico di progetto

- R = raggio del plinto = 12,00 mt

- ν = coefficiente di Poisson = 0,30

Per il calcolo del modulo a taglio dinamico si fa riferimento alla velocità delle onde di taglio (V_s) del sottosuolo, mediata sulla profondità significativa in funzione delle pressioni indotte dai carichi.

Si adotta la formula $G_{dyn} = 0.35 \rho \langle V_s \rangle^2$ in cui $\langle V_s \rangle$ è il valore medio ponderato della velocità delle onde di taglio e ρ la densità media del sottosuolo. Nel caso in esame la $\langle V_s \rangle$ è stata

assunta conservativamente pari al valore minimo della velocità equivalente delle onde a taglio valutate nell'ambito delle indagini geofisiche esecutive MASW di cui alla relazione geologica. Pertanto:

$$G_{\text{dyn}} = 0.35 \cdot 2,08 \cdot 323.95^2 \cdot 10^{-3} = 76.39 \text{ MPa}$$

$$\text{DRS} = 8 \cdot 76,39 \cdot 12000^3 / [3 \cdot (1 - 0,30)] = 502.864 \text{ MNm/rad}$$

Minimo richiesto dal costruttore=165.000,00MNm/rad come da documento "D2431696-002 SGRE ON SG 6.0-170 Foundation Requirements Document T115-52A-WTC - D023-P037-T02_02 - Foundation" punto 3.9.2.

8 METODOLOGIE DI CALCOLO, TIPO DI ANALISI E STRUMENTI UTILIZZATI.

L'analisi di tipo numerico è stata realizzata mediante il Programma di Calcolo "API++ Platee e Graticci - Analisi fondazione", aggiornato alla Versione 14.0 prodotto da Aztec Informatica (Casole Bruzio) con Licenza d'uso n. AIU40280G.

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Per il calcolo di piastre, plinti e graticci si utilizza il metodo degli elementi finiti. Il generatore di mesh permette di utilizzare elementi triangolari o quadrangolari, anche a deformabilità tagliante.

Per le strutture di fondazione il terreno viene modellato con una serie di molle alla Winkler non reagenti a trazione. Il calcolo delle tensioni indotte nel terreno può essere condotto con i metodi di Boussinesq, Westergaard o Frohlich. Il calcolo dei cedimenti può essere eseguito con il metodo edometrico (con il modulo edometrico o con la curva edometrica) o elastico. Il calcolo della portanza può essere fatto con i metodi di Terzaghi, Meyerhof, Hansen o Vesic.

In presenza di pali viene eseguito il calcolo di portanza verticale (di punta e laterale) e trasversale (portanza per carichi orizzontali).

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	API++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	STIM Engineering S.r.l.
Licenza	AIU40280G

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza

del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. 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.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Bari, 10.11.2021

PROGETTAZIONE:

ing. Massimo CANDEO

Ord. Ing.ri Bari n°3755



The image shows a handwritten signature in blue ink over a circular professional stamp. The stamp contains the text: "Ing. Massimo CANDEO", "ALBO INGEGNERI PROV. DI BARI", and "N. 3755".