

REGIONE SICILIANA  
Comune di Mazara del Vallo  
Provincia di Trapani

PROPONENTE:  
VRG Wind 060 S.r.l.

**VRg** wind 060

**FICHTNER**  
ITALIA



**INGEGNERIA  
PROGETTI** SRL

PROGETTO:

Integrale Ricostruzione del Parco Eolico "VRG Wind 060"  
ubicato nel Comune di Mazara del Vallo (TP)

Elaborato: L.1

Formato: A4  
Numero foglio 1 di 24  
scala: nessuna

Progetto definitivo

Elaborato:

Relazione di calcolo preliminare sulle strutture

I progettisti

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Firma

\_\_\_\_\_ Firma

REV

DATA

PREPARATO

CONTROLLATO

APPROVATO

1

24/03/2023

Studio Rizzo

Fichtner



VRG Wind 060 S.r.l.

Job: F614



## Sommario

1.	PREMESSA.....	2
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3.	DESCRIZIONE TECNICA DELL'AEROGENERATORE.....	5
4.	DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DELLE OPERE DI FONDAZIONE DELL'AEROGENERATORE .....	6
5.	PARAMETRI GEOLOGICI E GEOMECCANICI DEL TERRENO .....	10
6.	VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE FONDAZIONI.....	11
7.	AZIONE SISMICA .....	14
8.	MATERIALI .....	16
9.	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE (PREDIMENSIONAMENTO) .....	18
10.	SOFTWARE DI CALCOLO .....	22

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> <b>Parco Eolico Mazara del Vallo</b>	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 2 di 22
---	---	------------------------------------	------------------------------

## 1. PREMESSA

### 1.1 Descrizione del Proponente



Il soggetto proponente del progetto in esame è la società VRG Wind 060 S.r.l. con sede in Via Algardi 4, 20148 Milano, P.IVA n. 02219610819; interamente parte del gruppo Sorgenia S.p.A., uno dei maggiori operatori energetici italiani. Il Gruppo è attivo nella produzione di energia elettrica con oltre 4.750 MW di capacità di generazione installata e oltre 400.000 clienti in fornitura in tutta Italia. Efficienza energetica e attenzione all'ambiente sono le linee guida della sua crescita. Il parco di generazione, distribuito su tutto il territorio nazionale, è costituito dai più avanzati impianti a ciclo combinato e da impianti a fonte rinnovabile, per una capacità di circa 370 MW tra biomassa ed eolico. Nell'ambito delle energie rinnovabili, il Gruppo, nel corso della sua storia, ha anche sviluppato, realizzato e gestito impianti di tipo fotovoltaico (ca. 24 MW), ed idroelettrico (ca.33 MW). In quest'ultimo settore, Sorgenia è attiva con oltre 75 MW di potenza installata gestita tramite la società Tirreno Power, detenuta al 50%. Il Gruppo Sorgenia, tramite le sue controllate, fra le quali VRG Wind 060 S.r.l. è attualmente impegnata nello sviluppo di un importante portafoglio di progetti rinnovabili di tipo eolico, fotovoltaico, biometano, geotermico ed idroelettrico, caratterizzati dall'impiego delle Best Available Technologies nel pieno rispetto dell'ambiente.

### 1.2 Sintesi del progetto

Il Progetto prevede l'integrale ricostruzione (repowering) del Parco Eolico esistente di Mazara del Vallo, ricadente nei limiti amministrativi territoriali dei comuni di Mazara del Vallo (TP) e Salemi (TP), mentre dal punto di vista catastale le opere di progetto risultano individuate all'interno dei fogli del Comune di Mazara del Vallo, e di proprietà della società VRG Wind 060 S.r.l. (il soggetto proponente). Il parco eolico esistente è costituito da:

- un vecchio impianto costituito da n. 24 aerogeneratori da 2 MW, per una potenza nominale complessiva di 48 MW;
- un ampliamento più recente (in esercizio dal 2016) costituito da n. 6 aerogeneratori Vestas V126 da 3 MW, per una potenza nominale complessiva di 18 MW.

Il progetto di integrale ricostruzione prevede la dismissione del vecchio impianto di 24 aerogeneratori da 48 MW complessivi e l'installazione nelle stesse aree di 13 aerogeneratori di grande taglia, aventi diametro del rotore fino a 170 m, altezza al mozzo fino a 125 m e altezza totale fino a 210 m, ed una

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> <b>Parco Eolico Mazara del Vallo</b>	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 3 di 22
---	---	------------------------------------	------------------------------

potenza nominale di 6 MW ciascuno, per una potenza totale di 78 MW.

Il progetto rispetta i criteri del DL Semplificazioni<sup>1</sup>, che specifica il numero massimo di turbine, l'altezza totale dell'estremità delle pale, nonché l'estensione dell'area di sito utilizzabile perché il progetto di repowering sia considerato una modifica non sostanziale.

Il progetto prevede il massimo riutilizzo della viabilità esistente a servizio del parco eolico attualmente in esercizio, con gli opportuni adeguamenti, e la realizzazione di nuove piazzole in corrispondenza della posizione dei nuovi aerogeneratori.



Il soggetto proponente ha richiesto la modifica della connessione alla rete elettrica dell'impianto esistente, e si propone di mantenere come punto di connessione quello già esistente alla Cabina Primaria a 150 kV "Mazara 2", di e-distribuzione S.p.A., situata nel Comune di Mazara del Vallo. Si prevede pertanto il riutilizzo della Sottostazione Elettrica di Utente (SSEU) e della connessione in alta tensione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) esistenti, con interventi tecnici di adeguamento degli impianti alla nuova potenza del parco eolico.

La rete di cavi elettrici interrati a servizio del parco esistente sarà rinnovata, con la posa di nuovi cavidotti in media tensione a 30 kV disposti lungo la viabilità di servizio e pubblica, su tracciato -per quanto possibile - della rete esistente. I cavidotti collegheranno gli aerogeneratori alla SSEU, dove avviene la trasformazione da 30 kV a 150 kV per consentire la consegna dell'energia a 150 kV alla RTN. Nella SSEU esistente rimarrà connesso alla rete anche l'ampliamento del parco eolico da 18MW in esercizio dal 2016.

I progetti del tipo in esame rispondono a finalità di interesse pubblico (riduzione dei gas ad effetto serra, risparmio di fonti fossili scarse ed importate) ed in quanto tali sono indifferibili ed urgenti, come stabilito dalla legge 1° giugno 2002, n. 120, concernente "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" e dal D.Lgs. 29 dicembre 2003, n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e s.m.i..

L'utilizzo di fonti rinnovabili comporta infatti beneficio a livello ambientale, in termini di tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) risparmiate e mancate emissioni di gas serra, polveri e inquinanti. Per il progetto in esame si stima una producibilità del parco eolico superiore a 240 GWh/anno, che consente di risparmiare almeno 44.800 TEP/anno (fonte ARERA: 0,187 TEP/MWh) e di evitare almeno 107.784 ton/anno di emissioni di CO<sub>2</sub> (fonte Rapporto ISPRA 2022: 449,1 gCO<sub>2</sub>/kWh).

<sup>1</sup> DL 77 del 31/05/2021 convertito con la Legge 108 del 29/07/2021, come modificato da DL 17/2022 convertito con la Legge 34/2022

 	<p style="text-align: center;"><b>ELENCO ELABORATI PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo</p>	<p>Codice Data Revisione Pagina</p>	<p>L.1 24/03/2023 4 di 22</p>
---	--	---	---------------------------------------

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione preliminare si basa sulle stime delle sollecitazioni necessarie al predimensionamento delle fondazioni rimandando alla progettazione esecutiva l'elaborazione del dimensionamento esecutivo delle opere nel rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza strutturale.

**Legge 05/11/1971 n.1086:** Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;

**Legge 02/02/1974 n.64:** Ministero dei lavori pubblici - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;

**Decreto Ministeriale 16/01/1996:** Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi;

**Decreto Ministeriale 09/01/1996:** Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche;

**Decreto Ministeriale 11/03/1988:** Ministero dei lavori pubblici - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;



**Decreto Ministeriale 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

**Circolare Ministero LL.PP. 24/09/1988 n.30483:** Legge 02/07/1974 – D.M. 11/03/1988 – Istruzioni per l'applicazione;

**Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18**

**La norma IEC 61400-1:2019 specifica i requisiti di progettazione essenziali**

- Wind energy generation systems- part 1: Design requirements

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 5 di 22
---	--	------------------------------------	------------------------------

### 3. DESCRIZIONE TECNICA DELL'AEREOGENERATORE

L'aerogeneratore previsto ha una potenza nominale di 6 MW ed ha un'altezza al mozzo pari a 125 m. Il rotore è ad asse orizzontale ed è costituito da tre pale collegate al mozzo.

Le pale sono dotate di una Sistema di controllo di turbina che ottimizza il posizionamento delle stesse in funzione delle varie condizioni del vento. Il diametro del rotore è pari a 170 m con area spazzata pari a circa 22.690 m<sup>2</sup> e verso di rotazione in senso orario con angolo di tilt pari a 6°.

Le pale sono realizzate in fibra di vetro e carbonio. Il mozzo in ghisa, supporta le tre pale e trasferisce le forze reattive ai cuscinetti e la coppia al moltiplicatore di giri. L'accoppiamento rende possibile il trasferimento dalla rotazione a bassa velocità del rotore a quella ad alta velocità del generatore. Il freno a disco idraulico è posizionato nella parte posteriore del moltiplicatore di giri.

La torre di sostegno è del tipo tubolare a cinque tronchi tra loro ancorati in verticale con unioni bullonate.

L'aerogeneratore opera a seconda della forza del vento; al di sotto di una certa velocità, detta di cut-in, la macchina è in attesa (stato di pausa); perché ci sia l'avviamento è necessario che la velocità raggiunga tale soglia che nel caso dell'aerogeneratore di riferimento è pari a 3 m/s. Durante il funzionamento la velocità del vento "nominale" è la minima velocità del vento che permette alla macchina di fornire la potenza di progetto; tale velocità è pari a 11 m/s. Ad elevate velocità (25 m/s) l'aerogeneratore viene posto fuori servizio per motivi di sicurezza (velocità di cut-off).

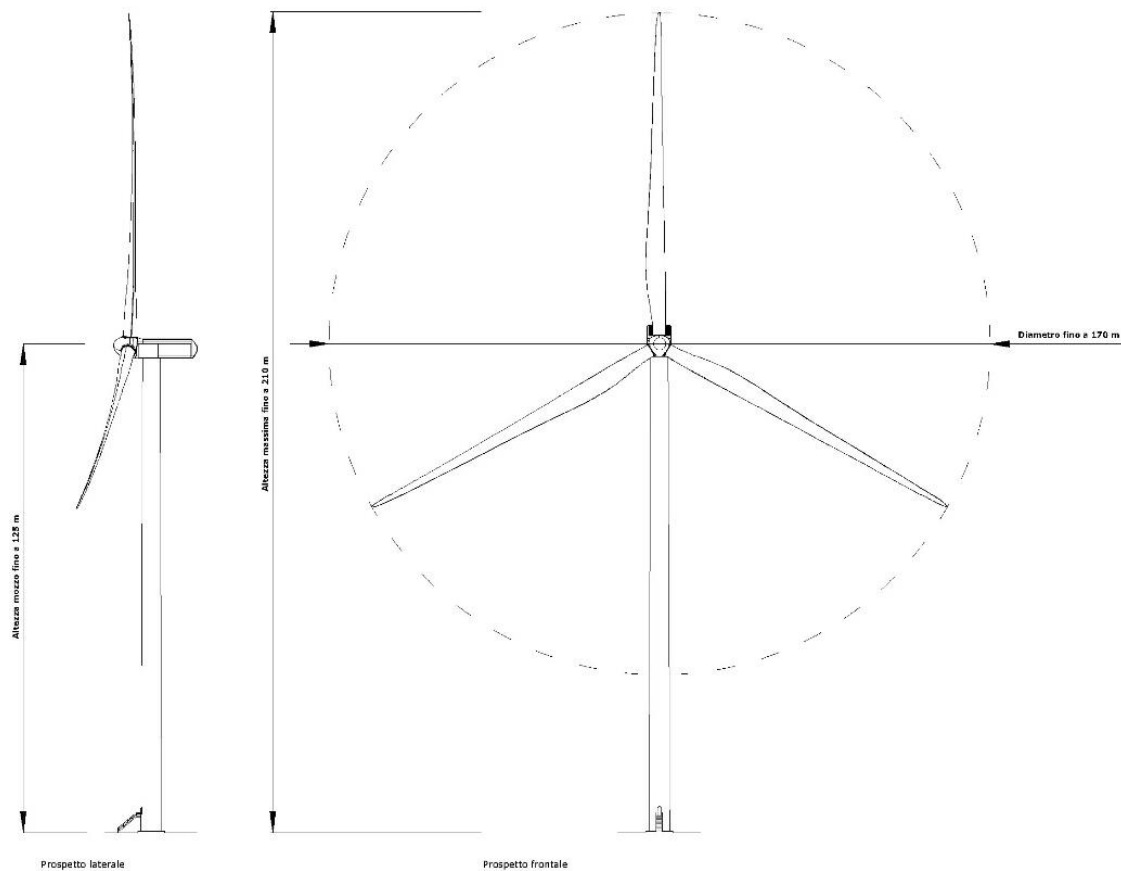


Figura 1: Rif. ElaboratoF.1 - Sezione tipo aerogeneratore

#### **4. DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DELLE OPERE DI FONDAZIONE DELL'AEROGENERATORE**

Le sollecitazioni agenti sulle fondazioni si calcolano in base al codice di progetto e alle condizioni climatiche.

L'effettivo dimensionamento delle strutture di fondazione è rimandato al progetto esecutivo. Inoltre viene considerata quale sollecitazione dimensionante quella relativa alle condizioni di vento estremo combinate e fornite per una turbina avente dimensioni e potenza pari a quella oggetto della presente. Dette sollecitazioni saranno trasmesse alle opere fondali tramite un anchor cage annegato nella fondazione, 280 barre M39, i quali sono collegati ad un'estremità con una flangia di base ed all'altra alla flangia di base della torre eolica.

### Informazioni sul codice di progettazione

Descrizione	Unità di misura	valore
codice di progettazione	-	IEC-61400-1 Ed3
Classe IEC	-	3 A
Vita utile del progetto	Anni	20
Velocità del vento all'altezza mozzo	m/s	7,50
Velocità del vento estrema mozzo	m/s	37,50
Intensità media di turbolenza a 15 m/s	-	0,16
Densità media dell'aria	Kg/m <sup>3</sup>	1,225

Tabella 1. Informazioni sul codice di progettazione e condizioni climatiche

### Sistema di coordinate

Il sistema di assi utilizzato per la presentazione dei carichi sul fondo della torre è illustrato in figura 2

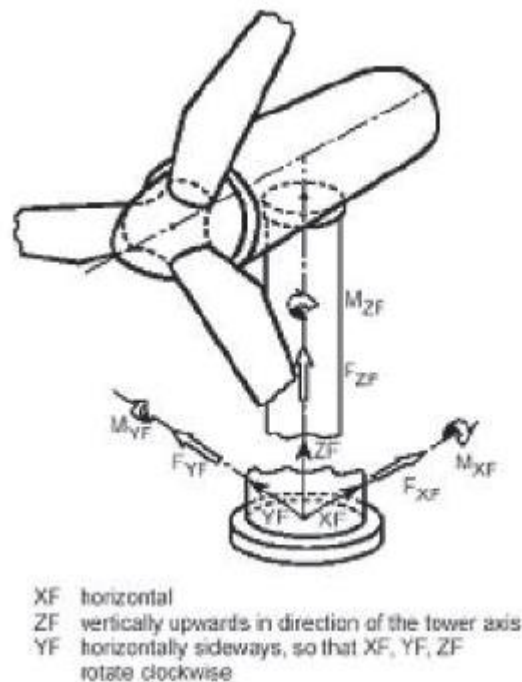


Figura 2: Sistema di coordinate

Sistema di coordinate nella parte inferiore della torre: posizione nella parte inferiore della torre, sulla superficie superiore di flangia della sezione d'acciaio di fondazione.



### Rigidità rotazionale

I requisiti di rigidità rotazionale della fondazione sono specificati per ciascuna turbina eolica, in modo da far funzionare correttamente la turbina alla frequenza naturale dell'intera unità

Nel caso di fondazioni su pali, viene fornito il valore minimo di rigidità orizzontale della fondazione da garantire nel progetto.

Il valore per è mostrato nella tabella che segue

WTG	SG 170
Rigidità rotazionale minima della fondazione	$1,5 \times 10^{11}$ Nm/rad

Tabella 2. SG 170 Rigidità rotazionale minima

La rigidità rotazionale minima della fondazione deriva dal modello aeroelastico del completo della turbina eolica. Nel caso in cui questi valori guidino i progetti di fondazione, i valori inferiori possono essere valutati se essi continuano a garantire l'adeguato comportamento dinamico della turbina eolica.

### Carico estremo

I carichi estremi per la progettazione delle fondazioni SG 170 sono mostrati nella tabella che segue:

Combinazione di carico	Fattore di carico	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Mz (kNm)	Mxy (kNm)
Dlc22_3bn_v1 1.0_p_s8	1,1	1.899,37	-30,20	-8.518,03	10.542,98	248.324,90	848,69	248.548,63

Tabella 3. Carichi estremi fattorizzati / non fattorizzati sul fondo della torre

I carichi forniti come "carichi estremi" in questa sezione sono i massimi carichi statici per la specifica turbina eolica calcolati secondo lo standard IEC 61400 o DIBt per ciascuna classe di sito. Questi carichi non devono essere combinati con nessun altro tipo di carico. Includono il comportamento dinamico della struttura e corrispondono al caso più sfavorevole alla base dell'aerogeneratore tra i diversi casi di carico, secondo IEC 61400 o DIBt. Pertanto, i carichi forniti da come "carichi estremi" sono direttamente i carichi di progetto della fondazione.

Non saranno divisi o combinati con qualsiasi altro carico.

### Carico caratteristico

Carichi caratteristici (massima combinazione di carico del momento flettente  $M_{xy}$  dei gruppi N, E e T secondo la GL2012 Sez. 5.4.3.1.3, o gruppi equivalenti NT secondo IEC 61400-1 2006) sono stati stimati come mostrato nella tabella che segue:

Combinazione di carico	Fattore di carico	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	M <sub>xy</sub> (kNm)
Dlc14_v90.0_p_000	1	1.316,18	54,14	-7.707,99	2.463,44	186.812,50	294,48	186.828,70

Tabella 4. Carichi caratteristici alla base della torre

### Carico quasi permanente

I carichi secondo GL2010, considerando DLC 1.1 e 6.4 con probabilità di superamento  $p_f = 10^{-2}$  (equivalenti a 1750 h in 20 anni) con  $F = 1,0$  sono stati stimati come mostrato nella tabella che segue

Altezza dal fondo (m)	Fattore di carico	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)	M <sub>xy</sub> (kNm)
0,00	1	1.006,50	1.007,01	-7.544,75	20.249,99	139.551,80	4.991,20	139.856,37

Tabella 5. Carichi quasi permanenti sul fondo della torre

### Carico di fatica

I carichi di fatica equivalenti sono forniti per le basi di progetto nella tabella che segue:

	Fattore di carico	m	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>z</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)	M <sub>z</sub> (kNm)
Fondo della torre	1	4	560,67	303,66	174,19	26.512,46	45.561,28	10.268,24
Fondo della torre	1	7	556,44	328,85	171,86	32.543,10	57.949,46	10.821,19

Tabella 6. Carichi di fatica equivalenti alla base della torre

Nella tabella sopra riportata, i valori "m" corrispondono al gradiente di Wöhler, che ha un valore di  $m = 4$  per acciaio annegato e  $m = 7$  per armatura in cemento armato. La seguente tabella mostra i carichi di fatica medi per la progettazione della fondazione:

Fattore di carico	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Mz (kNm)
1	478,42	-5,29	-7.608,11	4.649,15	66.600,68	-58,85

Tabella 7. Carichi medi di fatica alla base della torre

## 5. PARAMETRI GEOLOGICI E GEOMECCANICI DEL TERRENO

Relativamente ai parametri geologici e geomeccanici del terreno interessato dal presente progetto di repowering sono stati analizzati e descritti in apposita relazione geologica "Elaborato B.3", per la ricostruzione della stratigrafia fondale e di conseguenza la definizione dei principali parametri geomeccanici e geofisici del terreno di posa, e di seguito si riportano le risultanze relativamente a detto argomento.

I parametri geotecnici risultanti, comunque non esaustivi, sono:

### Per le torri 01, 02, 03, 04:

Il peso dell'unità di volume è variabile tra 19.0 e 20.2 KN/m<sup>3</sup>;

Coesione drenata compresa tra 19 e 50 KN/m<sup>2</sup>;

Angolo di attrito in condizioni drenate = 18°-27°;

La coesione non drenata è compresa tra 200 e 318 KN/m<sup>2</sup>.

### Per le torri 05, 06, 07, 08:

Il peso dell'unità di volume è variabile tra 19.5 e 20.5 KN/m<sup>3</sup>;



Coesione drenata compresa tra 20 e 50 KN/m<sup>2</sup>;

Angolo di attrito in condizioni drenate = 21°-25°;

La coesione non drenata è compresa tra 200 e 318 KN/m<sup>2</sup>.

### Per le torri 09:

Il peso dell'unità di volume è variabile tra 19.5 e 20.5 KN/m<sup>3</sup>;

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 11 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

Coesione drenata compresa tra 20 e 30 KN/m<sup>2</sup>;

Angolo di attrito in condizioni drenate = 21°-26°;

La coesione non drenata è compresa tra 200 e 305 KN/m<sup>2</sup>.

Per le torri 10, 11, 12, 13:

Il peso dell'unità di volume è variabile tra 19.0 e 20.2 KN/m<sup>3</sup>;

Coesione drenata compresa tra 19 e 20.5 KN/m<sup>2</sup>;

Angolo di attrito in condizioni drenate = 18°-26°;

La coesione non drenata è compresa tra 164 e 308 KN/m<sup>2</sup>.

Per una maggior dettaglio dello studio geologico effettuato si rimanda all'elaborato "B.3".

## 6. VERIFICHE GEOTECNICHE DELLE FONDAZIONI

Per la verifica a carico limite si adotta l'approccio 2 con una unica combinazione di carico A1+M1+R3, secondo le modalità esposte al p.to 6.4.3 NTC 2018. Detto approccio viene utilizzato nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali, e deve essere effettuata la verifica con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

### MODELLO DI CALCOLO DEL PALO

#### *CARICO LIMITE VERTICALE*

La valutazione del carico limite verticale del palo è effettuato attraverso le formule statiche. Ai fini del calcolo, il carico limite di un palo  $Q_{lim}$  viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta  $P$  e la resistenza laterale  $S$ :

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \int_0^L s(z) dz$$

dove con 'p' si indica la resistenza unitaria alla punta, con 's' la resistenza allo scorrimento all'interfaccia laterale palo-terreno, con 'd' il diametro e con 'L' la lunghezza del palo. La suddivisione è convenzionale in quanto gli sforzi laterali ed alla punta vengono mobilitati con il cedimento secondo leggi alquanto diverse e non necessariamente mono tonicamente crescenti; pertanto non è detto che, a rottura, siano contemporaneamente agenti le resistenze massime  $P$  ed  $S$ . Nel calcolo di 'p' ed 's' si prescinde dall'interazione dei due fenomeni di rottura.

### RESISTENZA ALLA PUNTA

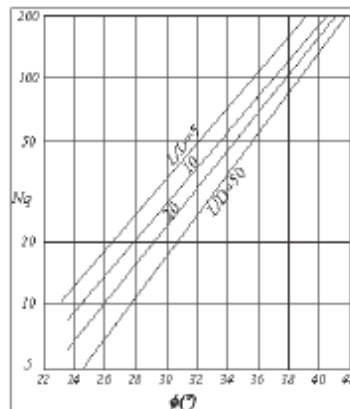
Come per le fondazioni dirette si pone:

$$p = N_q \sigma_{vt} + N_c c$$

dove  $\sigma_{vt}$  rappresenta la tensione litostatica verticale alla profondità L, e cioè quella che agisce sul piano orizzontale passante per la punta del palo. Per  $N_c$  vale la formula di trasformazione:

$$N_c = (N_q - 1) \cot(\phi)$$

Il valore di  $N_q$  è dato dall' abaco di Berentzantzev:



Esso è valido per pali di piccolo diametro.

### RESISTENZA LATERALE

Detta  $\sigma_h = k \alpha' v_z$  la tensione normale orizzontale agente alla profondità z si pone:

$$s = a + k \mu \sigma_{vz}'$$

nella quale 'a' è un termine coesivo,  $\mu$  un coefficiente di attrito tra palo e terreno, 'k' un coefficiente di spinta e  $\alpha' v_z$  la tensione effettiva litostatica alla profondità z.

Il coefficiente  $\mu$  dipende dalla scabrezza dell'interfaccia tra palo e terreno ed ha come limite superiore  $\tan(\phi)$ , I valori di 'k' adottati sono individuati nella tabella seguente:

Tipo di palo	Valori di k per stato di addensamento		Valori di $\mu$
	Sciolto	denso	
Prefabbricato	1	2	$\tan(3\phi/4)$
Gettato in opera	1	3	$\tan(\phi)$
Trivellato	0,5	0,4	$\tan(\phi)$
Trivellato - pressato con elica continua	0,7	0,9	$\tan(\phi)$

Per il termine coesivo si assume:

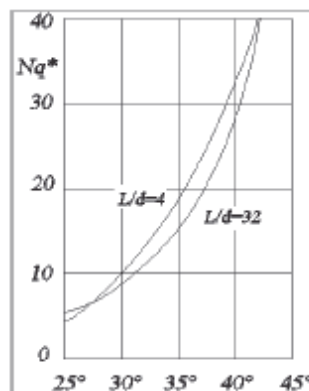
$$s = \alpha c \quad \text{con } \alpha \text{ dato da:}$$



Tipo di palo	Valori di c (kPa)	Valori di $\alpha$
Battuto	$c \leq 25$	1,0
	$25 < c < 70$	$1 - 0,011(c - 25)$
	$c > 70$	0,5
Trivellato	$c \leq 25$	0,7
	$25 < c < 70$	$0,7 - 0,008(c - 25)$
	$c > 70$	0,35

#### CARICO LIMITE DI PALI TRIVELLATI DI GRANDE DIAMETRO

Per pali trivellati di grande diametro si adotta l'abaco ridotto delle norme AGI. Si è osservato che la resistenza laterale dei pali raggiunge il suo valore limite in corrispondenza di cedimenti del palo relativamente ridotti dell'ordine di 1-2 cm ed indipendenti dal diametro del palo. La resistenza alla punta al contrario si mobilita per spostamenti proporzionali al diametro pari a circa il 10% di questo per pali battuti ed al 25% per i pali trivellati. Nel caso di pali trivellati di grande diametro, pertanto, la resistenza alla punta si mobilita per spostamenti dell'ordine di 15-20 cm. In corrispondenza di spostamenti così elevati la resistenza laterale potrebbe addirittura assumere valori minori di quelli massimi, nel caso di andamento instabile. In ogni caso, applicando gli usuali valori dei coefficienti di sicurezza al carico limite calcolato come somma di P + S sotto i carichi di esercizio il palo avrebbe dei cedimenti troppo elevati. Per questi motivi il progetto dei pali di grande diametro è basato sulla considerazione di uno stato limite di servizio e non di rottura, pertanto, il carico limite del palo di grande diametro non è tanto quel carico che produrrebbe la rottura del terreno, ma quello che produrrebbe cedimenti troppo elevati incompatibili con la stabilità della struttura.





Analogamente ai pali di piccolo diametro il valore di 'p' è dato dalla relazione:

$$p = N_q^* \sigma_{vl} + N_c C$$

In entrambi i casi, in condizioni non drenate, si porrà  $c = c_u$  e  $\phi = 0$ .

Per pali trivellati il valore dell'angolo  $\phi$  da introdurre nei calcoli sarà  $\phi = \phi' - 3^\circ$ , dove  $\phi'$  rappresenta

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 14 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

l'angolo di attrito del terreno.

### CARICHI ORIZZONTALI

Il calcolo del carico limite orizzontale del palo è condotto attraverso la teoria di Broms, essa assume che il comportamento dell'interfaccia palo terreno sia di tipo rigido perfettamente plastico, inoltre il valore della pressione mobilitata sia indipendente dalla forma della sezione ma dipenda solo dalla dimensione trasversale 'd' (diametro del palo, lato di una sezione quadrata ecc.). Immaginando di imprimere una traslazione orizzontale al palo per effetto della resistenza mobilitata nel terreno, lungo il fusto del palo si destano momenti flettenti e la rottura del complesso terreno palo può presentare diverse caratteristiche anche in funzione del vincolo che si ha in testa al palo.

Se il momento di plasticizzazione del palo è talmente grande che in nessun punto del fusto viene superato dal valore massimo del momento flettente, il comportamento è di ' Palo Corto ' ; se il palo è libero di ruotare in testa e se il momento massimo supera il momento di plasticizzazione della sezione del palo, lungo il fusto si forma una cerniera plastica ed il comportamento del palo è quello di ' Palo Lungo ' ; per i pali impediti di ruotare in testa, invece, se si forma una sola cerniera plastica in testa, il palo ha comportamento di ' Palo Intermedio', mentre se si formano due cerniere plastiche una in testa e l'altra lungo il fusto si ha il comportamento di ' Palo lungo '.

La valutazione della pressione di contatto palo-terreno è valutata secondo la relazione:



$$p = 9cd + 3k_p \psi d$$

il primo termine, costante, è esteso tra le profondità 1,5d ed L; il secondo variabile linearmente è esteso tra 0 ed L. Il valore di  $k_p$  (coefficiente di spinta passiva) è dato dalla relazione  $k_p = \tan(45 + \phi/2)$ . In condizioni non drenate si porrà  $c = c_u$  e  $\phi = 0$ , quando si individua che  $\phi \neq 0$  si trascura automaticamente il secondo termine (esso potrebbe essere trascurato imponendo  $\psi = 0$ , ma il calcolo automatico condurrebbe ad una errata valutazione del carico limite verticale), per terreni incoerenti si porrà  $c = 0$ .

## 7. AZIONE SISMICA

Nel sito in esame sono stati acquisiti n° 4 profili sismici secondo la metodologia MASW, denominati Masw 1, Masw2, Masw3 e Masw 4, realizzati rispettivamente in prossimità degli aerogeneratori di progetto n° 4, 9, 10 e 13.

Tale indagine ha avuto lo scopo di individuare le velocità di propagazione delle onde sismiche secondarie (onde S) all'interno dei terreni che costituiscono i primi 30 metri di sottosuolo, secondo la normativa

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 15 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

vigente (D.M. 17/01/2018 e ss.mm.ii.)

Il sondaggio è stato realizzato posizionando, lungo un allineamento definito, 12 geofoni prodotti dalla PASI s.r.l. aventi una frequenza di 4,5 hz, con equidistanza pari a 3 metri. L'offset (scoppio) è stato posto a cinque metri dal primo geofono.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il sismografo digitale 16SG24N a 24 canali della PASI srl ad alta risoluzione, matricola n° 09036062N.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza di battuta del peso di 8 kg con interruttore starter battente su una piastra metallica che è stata utilizzata come dispositivo in grado di generare onde sismiche.

**Metodo d'indagine:**

Entrando nel merito della elaborazione, per la determinazione del profilo verticale della Vs (e quindi la Vseq), il primo passo riguarda la "Determinazione dello Spettro di Velocità" ed il "picking" della curva di dispersione. Successivamente si procede con la modellazione diretta o l'inversione della curva di dispersione interpretata dall'utente.

Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità, e quindi si effettua il picking della curva di dispersione cioè la selezione dei punti che appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale. Successivamente, per ottenere il profilo verticale della VS, è necessario eseguire l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) che richiede un notevole impegno delle risorse di calcolo del computer. La contropartita è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (deviazioni standard).



Grazie alle conoscenze geologiche dell'area in esame, si è stabilito per l'interpretazione dei dati acquisiti una modellistica a 3 strati. Le curve di dispersione relative ai sondaggi sismici eseguiti sono mostrate di seguito.

Le analisi del profilo sismico MASW ha permesso la definizione di modelli 1D di velocità delle onde di taglio, localizzabili nei baricentri dello stendimento.

Poiché la profondità H del substrato (definito come quella formazione di roccia o terreno molto rigido) caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s è maggiore di 30 metri, di seguito si fornisce come velocità equivalente delle onde di taglio il parametro Vs30, così come descritto nel paragrafo 3.2.2. delle NTC 2018.

Per i sondaggi denominati Masw 1 e Masw 3, relativi alle torri 04 e 10, il tipo di suolo ricade nella categoria sismica C ovvero: depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un



 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 16 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s,.

Nel sondaggio denominato Masw 2 effettuato in prossimità della torre 09 il tipo di sottosuolo ricade nella categoria sismica B ovvero: depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Nel sondaggio denominato Masw 4 relativo alla torre 13 il tipo di sottosuolo ricade invece nella categoria sismica E ovvero: terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 8. MATERIALI

### 8.1 CALCESTRUZZO IN OPERA

Il calcestruzzo utilizzato in opera sarà di diversa fattura a seconda dei casi di utilizzo dello stesso, infatti verrà utilizzato cls ordinario di classe C25/30 per la realizzazione dei pali di fondazione a servizio degli aereogeneratori, nonché di tutte le strutture facenti parte la sottostazione. Mentre per la piastra di base, su cui sarà innestata la torre eolica, verrà utilizzato un cls di classe C35/40. Per il piedistallo di alloggiamento della torre, verrà utilizzato un cls di classe C40/50.



Il calcestruzzo ordinario utilizzato in opera sarà di tipo normale avente massa volumica compresa fra 2000 e 2600 kg/m<sup>3</sup>.

Dovrà essere garantita, unitamente alla resistenza, la durabilità delle strutture in conglomerato cementizio. Pertanto, nel caso di calcestruzzi a "prestazione garantita" (UNI EN 206-1), dovranno essere rispettate anche le prescrizioni relative alla composizione ed alle caratteristiche del conglomerato fresco ed indurito, nonché quant'altro esplicitamente o implicitamente contenuto nella documentazione tecnica di progetto.

Per i soli calcestruzzi di sottofondazione (indicati anche come "magroni"), è possibile produrre miscele a dosaggio con  $R_{ck} > 15 \text{ N/mm}^2$ .

I materiali impiegati per il confezionamento del calcestruzzo sono: aggregato di inerti (sabbia e ghiaia o pietrisco), pasta di cemento (cemento e acqua) ed eventuali additivi. Tali materiali dovranno rispettare quanto indicato nelle normative di riferimento sopra elencate.

• **Aggregati di inerti** - Si utilizzeranno aggregati di massa volumica normale compresa fra 2000 e 3000 kg/mc. Gli inerti in genere dovranno corrispondere ai requisiti prescritti dalla normativa vigente e dalle

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 17 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

UNI EN 12620. Dovrà essere attentamente analizzata la possibilità di insorgenza di reazioni tipo "ASR" (alcali silice), prendendo tutti i provvedimenti e le precauzioni indicate nella UNI EN 206-1, nella UNI 8520/22:2002 e nella UNI 8981-8:1999;

• **Cementi** - I cementi devono rispettare le norme, le indicazioni, le caratteristiche e le prescrizioni contenute nella UNI EN 197/01 e nelle normative Legge 26/05/1965 n. 595 e DM 03/06/1968 "Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi";

• **Acqua** - L'acqua di impasto dovrà ottemperare alle prescrizioni della UNI EN 1008:2003 o presentare, in alternativa, un tenore di sali disciolti minore dello 0.2% in peso. Per le acque non provenienti dai normali impianti di distribuzione di acqua potabile, si dovrà stabilirne l'idoneità mediante gli esami necessari per rilevare la presenza di sostanze con influenza negativa sui fenomeni di presa e indurimento del calcestruzzo, nonché sulla durabilità. L'acqua dovrà essere comunque limpida, incolore, inodore e sotto agitazione non dovrà dare luogo a formazione di schiume persistenti;

• **Additivi** - Gli additivi dovranno corrispondere alle prescrizioni delle UNI 7110:1972, UNI EN 934-2:2002, UNI 10765:1999, UNI EN 480-8:1998, UNI EN 480-10:1998. Gli additivi eventualmente utilizzati dovranno migliorare e potenziare le caratteristiche finali dei manufatti ed essere impiegati secondo le precise prescrizioni del produttore che dimostrerà, con prove di un Laboratorio Ufficiale da sottoporre al giudizio del Direttore dei Lavori, di rispondere ai requisiti richiesti ed alle disposizioni vigenti;



• **Calcestruzzo** - Il calcestruzzo potrà essere confezionato con processo industrializzato in uno stabilimento esterno o in cantiere secondo quanto indicato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni e nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale edita dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004;

## 8.2 ACCIAIO D'ARMATURA IN OPERA

L'acciaio da utilizzare deve provenire da uno stabilimento qualificato e deve essere controllato in stabilimento secondo le procedure descritte dalle norme tecniche. Deve quindi essere sempre marchiato ed accompagnato dalla relativa documentazione, in particolare:

- dichiarazione di conformità CE o attestato di qualificazione del Servizio Tecnico Centrale riportanti un timbro in originale e almeno la data di spedizione ed il destinatario;
- documento di trasporto che indichi lo stabilimento di provenienza, le dimensioni, il tipo, la quantità ed il destinatario;

Nel caso di acciaio lavorato in centri di trasformazione questi ultimi sono tenuti ad effettuare i controlli previsti nelle Norme Tecniche e ad accompagnare la fornitura in cantiere con:

 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 18 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

- Documento di trasporto con dichiarazione degli estremi dell'attestato di avvenuta dichiarazione di attività, rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, recante il logo o il marchio del centro di trasformazione;
- Attestazione inerente l'esecuzione delle prove di controllo interno fatte eseguire dal direttore tecnico del centro di trasformazione, con indicazione dei giorni nei quali la fornitura è stata lavorata.



## 9. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE

### 9.1 Fondazione tipo

Il plinto di fondazione predimensionato risulta idoneo alla trasmissione dei carichi scaturenti dalla sovrastruttura al terreno. L'effettivo dimensionamento ed il relativo calcolo analitico delle armature è rimandato alla relazione specialistica di calcolo strutturale allegata al progetto esecutivo. Dal predimensionamento eseguito è risultato idoneo un plinto circolare con diametro esterno pari a 20,00-22,00 m e colletto di diametro pari a 6,00-8,00m.

Il plinto presenterà altezza massima di circa 600-800 cm e colletto di sormonto. L'area della piastra di fondazione al di là della base è coperta da materiale di recupero con massa volumica a secco di 18 kN/m<sup>2</sup>. La fondazione è rinforzata in direzione radiale e circonferenziale con armatura metallica. Si prevede di realizzare plinti su pali, in funzione delle analisi geologiche e geotecniche espletate in fase esecutiva. In linea di massima si prevede che il diametro dei pali sia di:  $d=1200-1500$  mm e profondità variabile da 25,00 a 30,00 mt. il numero dei pali stimato in fase preventiva è di 24. Si ribadisce e precisa che in ogni caso le dimensioni precise e il numero preciso dei pali verrà stabilito in fase esecutiva dopo avere acquisito i risultati dello studio geologico e geotecnico.



 	<b>ELENCO ELABORATI</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b> Parco Eolico Mazara del Vallo	Codice Data Revisione Pagina	L.1 24/03/2023 20 di 22
---	--	------------------------------------	-------------------------------

## 9.2 Fondazione tipo del trasformatore

Come già evidenziato negli specifici elaborati (G) di progetto relativo alle opere elettriche, in sottostazione si prevede la sostituzione di numero due trasformatori di potenza adeguata.

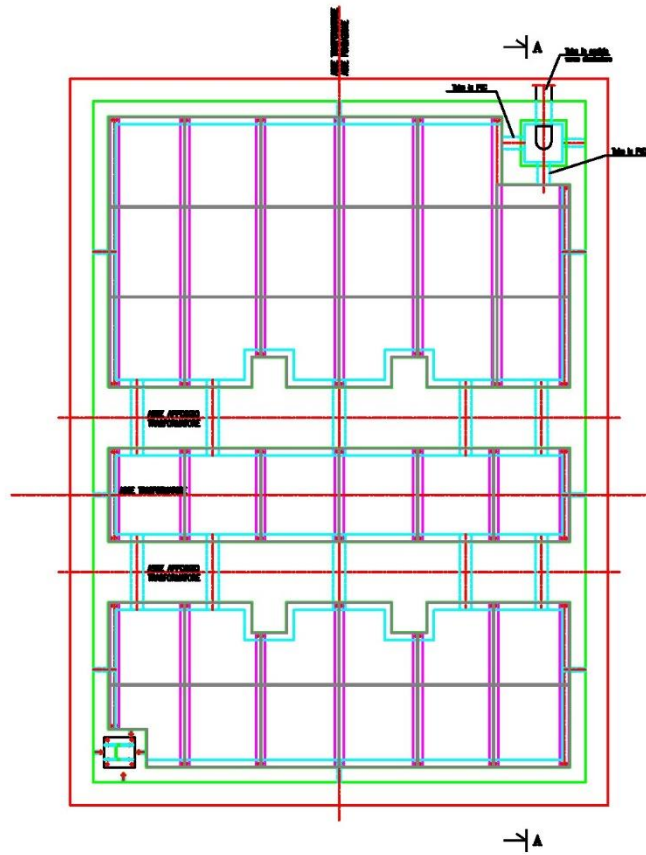
Non essendo stato sviluppato un calcolo strutturale esecutivo della parte strutturale del trasformatore, nella presente è stato allegato un particolare della fondazione, come tipologia, fermo restando che solo il calcolo strutturale esecutivo potrà fornire dettagli specifici sulle fondazioni utilizzate evidenziando dimensioni e caratteristiche.

Tenuto conto che i trasformatori di nuova realizzazione avranno dimensioni diverse rispetto all'esistente, si procederà alla realizzazione di una nuova fondazione che sarà del tipo a travi rovesce con nervature in acciaio e relative canalizzazioni.

Si procederà in fase esecutiva a delle valutazioni non solo tecniche ma anche economiche, individuando la soluzione più adeguata ed equilibrate tra i due aspetti.



**PIANTA TIPICO FONDAZIONE TRASFORMATORE**



**SEZIONE A-A ARCHITETTICA**

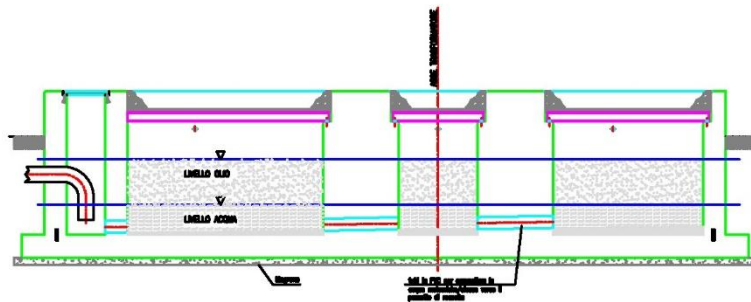




Figura 4: schema rappresentativo della fondazione tipo del trasformatore

 	<p style="text-align: center;"><b>ELENCO ELABORATI</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RELAZIONE PRELIMINARE DELLE STRUTTURE</b>  Parco Eolico Mazara del Vallo</p>	<p>Codice  Data Revisione  Pagina</p>	<p>L.1  24/03/2023  22 di 22</p>
---	---	---	--

## 10.SOFTWARE DI CALCOLO

Per quanto attiene agli elementi di calcolo che si sono utilizzati per la predisposizione del presente elaborato si specifica che è stato utilizzato il software di calcolo CDS della società. **S.T.S. SOFTWARE TECNICO SCIENTIFICO SRL**. Il numero di licenza utilizzato è 36827, per il quale la stessa società produttrice ha prodotto specifica verifica dell'attendibilità del codice di calcolo.

### **Affidabilità dei codici utilizzati**

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso. La S.T.S. s.r.l., a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente on-line i test sui casi prova liberamente consultabili all'indirizzo: <http://www.stsweb.it/STWeb/ITA/homepage.htm>.