

DISEGNI DI RIFERIMENTO


CODIFICA		DESCRIZIONE
LOGOS REN	CLIENTE	

NOTE

--

Rev.	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato	Data
A	Prima emissione	SINTECNICA	D.Barbarigo	E.Sonno	08/11/2023

INDICE DELLE REVISIONI

 	Impianto	PASCOLO SOLARE MACCABOVE
	Cliente	
	Titolo	CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI

Commessa	N° documento	Nome file	REV
6201	AV.MAN.DE.CI.R.007	AV.MAN.DE.GE.R.001_A Calcoli di dimensionamento delle strutture e degli impianti	A

1	INQUADRAMENTO	3
1.1	DESCRIZIONE DELLE OPERE	3
1.2	CARATTERISTICHE DELL' AREA DI INTERVENTO	3
2	ELEMENTI OGGETTO DI ANALISI	4
2.1	PROFONDITA' DI INFILSIONE PALI SUPPORTI.....	4
2.2	DIMENSIONAMENTO SEZIONE PALI SUPPORTI.....	4
2.3	CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONI CABINE	4
3	AZIONI.....	5
3.1	AZIONI DI PROGETTO	5
3.2	AZIONE DEL VENTO	5
3.3	AZIONE DELLA NEVE.....	6
3.4	PESI PROPRI.....	7
4	ANALISI	8
4.1	SOFTWARE DI ANALISI	9
4.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	9
4.3	MODELLI DI CALCOLO	9
4.4	STRUTTURE MODULI.....	10
4.5	OUTPUT DI VERIFICA.....	12
4.6	CABINE.....	15
5	CONCLUSIONI	17

1 INQUADRAMENTO

1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'oggetto del presente elaborato è l'attività di verifica, strutturale e geotecnica, delle opere di sostegno dei moduli fotovoltaici e di dispositivi di gestione potenza per il "PASCOLO SOLARE MACCABOVE" ubicato in località Manciano - GROSSETO (TOSCANA / ITALIA) della potenza complessiva di 44,46 MWp.

Le opere in oggetto sono costituite da:

- Strutture di sostegno moduli di altezza 2,1m rispetto al piano di campagna (all'asse) e supportate da pali in acciaio ad interasse di circa 6,1 metri. Le strutture di supporto ad inclinazione variabile (trackers), supporteranno i moduli fotovoltaici. Nello specifico, tali strutture saranno disposte a filari distanziati di 6,0m (pitch).

- Cabine componenti elettrici. Locali prefabbricati contenenti gli impianti tecnologici necessari alla gestione della potenza del campo. All'interno delle suddette cabine saranno presenti componenti di elevato peso, come trasformatori o quadri elettrici. Tali cabine saranno posizionate su fondazioni prefabbricate.

Per una descrizione dettagliata della geometria dei componenti in oggetto, fare riferimento all'elaborato AV.MAN.DE.CI.D.027.

1.2 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO

La zona di interesse progettuale è ubicata nella zona a sud del territorio del Comune di Manciano, nella parte meridionale della TOSCANA, a Sud del territorio provinciale di GROSSETO. Nello specifico, il sito di installazione del parco fotovoltaico di progetto, ovvero la località Montauto del comune di Manciano, dista circa 17,4 Km a Sud-Est dal centro abitato di Manciano, a circa 10,5 Km a Nord dal centro abitato di Montalto di Castro e a circa 31,3 km a Est dal centro abitato di Orbetello. Esso dista, infine, circa 12 km dalla costa Tirrenica, in linea con la centrale termoelettrica Enel di Montalto di Castro.

Il sito ad una altitudine compresa tra 80 e 110 metri s.l.m.

Coordinate del sito: latitudine 42° 26' 37.02"N, longitudine 11° 36' 3.83"E

Il sito si presenta come un appezzamento di terreno di estensione pari a 70 Ha circa, a planimetria compatta e superficie pressoché pianeggiante. Il sottofondo è di tipo terroso e costituito prevalentemente Argille (azzurre). Non sono presenti costruzioni sul sito. La funzione fino ad oggi ricoperta è stata quella di appezzamento agricolo.

1.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per lo svolgimento dell'analisi dei modelli di cui al presente elaborato si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

AV.MAN.DE.CI.R.004	Relazione idrologica e di compatibilità idraulica
AV.MAN.DE.CI.R.005	Relazione geotecnica e sulle fondazioni
AV.MAN.DE.AM.R.049	Relazione geologica
AV.MAN.DE.CI.D.027	Strutture moduli - Trackers
AV.MAN.DE.GE.D.028	Dettaglio cabine e area batterie
AV.MAN.DE.IM.D.032	Cabina generale MT
AV.MAN.DE.IM.D.038	Sottostazione 36kV

2 ELEMENTI OGGETTO DI ANALISI

In linea con il livello di progettazione (definitivo), sono stati analizzati i componenti principali dell'impianto, senza estendere i calcoli ad elementi di cui non si hanno dati certi o di certa realizzazione. Allo scopo, le analisi sono state limitate ai componenti installati nel campo fotovoltaico, tralasciando eventuali valutazioni inerenti il cavidotto di connessione a 30kV o eventuali superamenti critici di interferenze.

Si riportano di seguito i dettagli oggetto delle analisi svolte.

2.1 PROFONDITA' DI INFISSIONE PALI SUPPORTI

La profondità di infissione dei pali dei supporti rappresenta un elemento critico della progettazione, in quanto strettamente legato alla geologia del sito e alla sicurezza globale. La profondità di infissione influenzerà i seguenti aspetti:

- Sicurezza e stabilità globale dei filari;
- Posa in opera;
- Quantitativi di materiale supporti;

Oggetto di questa analisi è quella di stimare, compatibilmente con i dati forniti da relazione geologica e geotecnica, la profondità di infissione dei pali. Tale dato sarà indicativo tuttavia, in quanto dipendente dalle caratteristiche geotecniche del terreno di sedime, a loro volta dipendenti da sondaggi accurati e analisi su campioni.

La profondità determinata dovrà essere intesa come una grandezza ragionevolmente attesa per tale profondità, da affinare in occasione di calcoli più specifici e parametri geotecnici precisi.

2.2 DIMENSIONAMENTO SEZIONE PALI SUPPORTI

Le strutture di supporto, siano essi trackers o strutture fisse vengono solitamente fornite come elementi prefabbricati. Essendo le condizioni ambientali di sito una caratteristica specifica del luogo di installazione è ovvio che qualsiasi struttura standardizzata debba essere verificata per garantirne l'idoneità per l'utilizzo in ogni particolare luogo.

Oggetto di questa analisi è fornire, indicativamente, le dimensioni delle sezioni dei pali dei supporti, compatibilmente con la geometria scelta per i supporti, le condizioni di carico e i materiali scelti.

Le dimensioni dei pali determinate saranno da intendersi come minime, e saranno comunque dipendenti dai materiali impiegati e dall'effettiva altezza delle strutture di supporto, nonché dalla geometria scelta. Pertanto, tali indicazioni subiranno certamente una revisione in caso di impiego di strutture prefabbricate con particolari geometrie e differenti materiali costituenti.

2.3 CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONI CABINE

Le cabine che ospitano la componentistica elettrica sono generalmente costituite da elementi prefabbricati forniti già completi, le quali verranno a posarsi su fondazioni prefabbricate a loro volta posate in sito su uno strato di materiale stabilizzato.

Oggetto di questa analisi è verificare la compatibilità di questi componenti con il sito in oggetto relativamente alla posa in opera, ovvero determinare le pressioni massime che i suddetti esercitano terreno di sedime e confrontare le stesse con i valori limite individuati nella relazione geotecnica.

L'esito del confronto è da considerarsi indicativo in quanto dipendente da caratteri estremamente variabili, quali:

- Peso globale delle cabine effettivamente utilizzate;
- Peso delle fondazioni effettivamente utilizzate;
- Caratteristiche geotecniche precise del terreno di sedime.

Un aggiornamento di tali valutazioni si renderà necessario in sede di progettazione esecutiva.

3 AZIONI

3.1 AZIONI DI PROGETTO

Le azioni di progetto relative alle analisi di cui ai punti 4.1, 4.2, 4.3 sono state identificate e selezionate, non considerando nelle valutazioni quelle che non danno sostanziale contributo o a cui risultano imputabili effetti di minore rilevanza. Nella seguente tabella si riportano le sollecitazioni ambientali considerate per la valutazione degli effetti:

TIPO AZIONE	AZIONE	D infissione	Φ pali	Q_{lim} cabine
Permanenti	Peso proprio strutturale			X
	Peso proprio non strutturale			X
Variabili	Azione del vento	X	X	
	Azione della neve	X	X	
	Azione sismica			
Eccezionali	Urto veicolare			


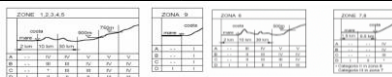
Come indicato nella tabella soprastante, sono state considerate ininfluenti ai fini del calcolo alcune azioni di progetto; le motivazioni di tale scelta è da ricondursi:

- Ridotte masse in elevazione in caso di azione sismica.
- Difficoltà nella determinazione dei parametri di impatto in caso di urto veicolare in questa fase di progetto.
- Ridotta influenza di forze gravitazionali.

Si procede pertanto con la determinazione delle azioni di progetto considerate determinanti per le analisi in esame.

3.2 AZIONE DEL VENTO

Si determina la pressione del vento (statica equivalente) in accordo con le vigenti NTC2018.

PROGETTO		LOGOS - Manciano										
posizione	42° 26' 37.02"N	11° 36' 3.83"E										
tipologia	strutture trackers - impianto FV Agro											
dimensioni	h2,1m all'asse - Moduli 2250mmx1150mm ca - incl max 55°											
struttura	acciaio S275											
fondazione	trave infissa											
VENTO	INPUT		OUTPUT									
	a. [m]	110	 <table border="1"> <tr> <td></td> <td>[N/m²]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>779</td> <td>pressione</td> </tr> <tr> <td>P_f</td> <td>0</td> <td>radente</td> </tr> </table>		[N/m²]		P	779	pressione	P_f	0	radente
		[N/m²]										
	P	779		pressione								
	P_f	0		radente								
	regione	Toscana										
	durata costruzione	maggiore di 1 anno										
	ρ [kg/m³]	1,25										
	classe di rugosità terreno	aree suburbane, industriali, boschive										
	distanza dalla costa [km]	11										
	categoria di esposizione sito	III										
	coefficiente di topografia	1										
z [m]	5											
cp	1											
cd	1											
cf	0											
												
ZONA	CLASSE RUG											
3	B											

L'applicazione del carico vento calcolata prevede l'applicazione di un cp unitario. (coefficiente di forma).

L'azione in oggetto è di tipo normale, ovvero rappresenta la pressione statica equivalente agente sulle superfici. E' stata in questa istanza trascurata l'azione radente del vento.

3.3 AZIONE DELLA NEVE

Si determina il carico neve in accordo con le vigenti NTC2018.

○	Zona I - Alpina Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbanco-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	Zona I - Mediterranea Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	Zona II Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$
●	Zona III Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Olgiastro, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$ $a_s > 200 \text{ m}$

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/mq])} = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])
 μ_i (coefficiente di forma)
 C_E (coefficiente di esposizione)
 C_t (coefficiente termico)

Valore caratteristico della neve al suolo

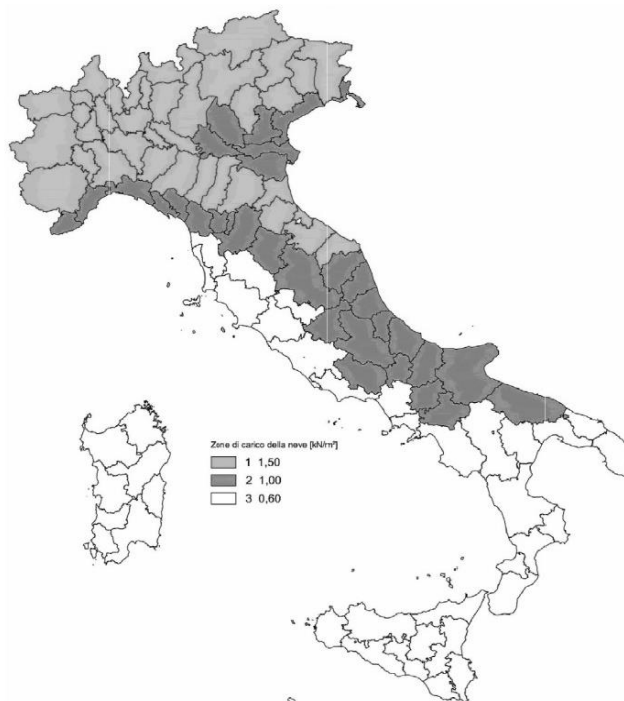
a_s (altitudine sul livello del mare [m])	100
q_{sk} (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	0,60

Coefficiente termico

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **Ct = 1**.

Coefficiente di esposizione

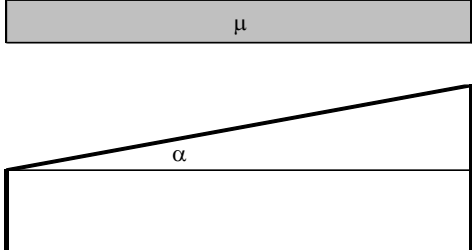
Topografia	Descrizione	C_E
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1



CARICO NEVE

<u>Valore del carico della neve al suolo</u>	
q_s (carico della neve al suolo [kN/mq])	0,60
<u>Coefficiente di forma (copertura ad una falda)</u>	
α (inclinazione falda [°])	0
μ	0,8

0,480 kN/mq μ

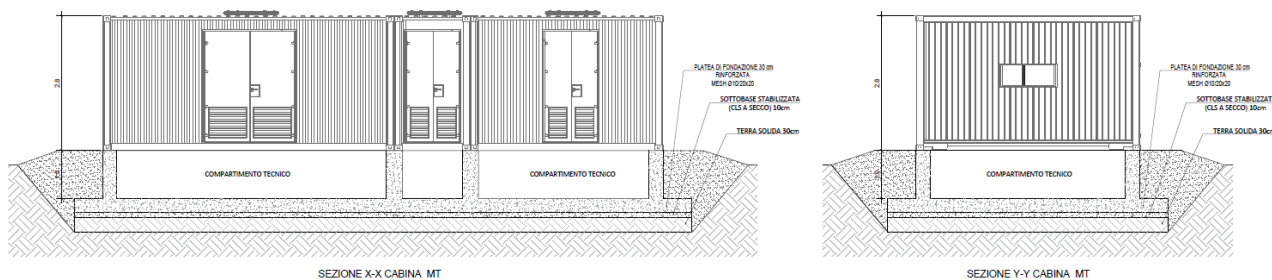


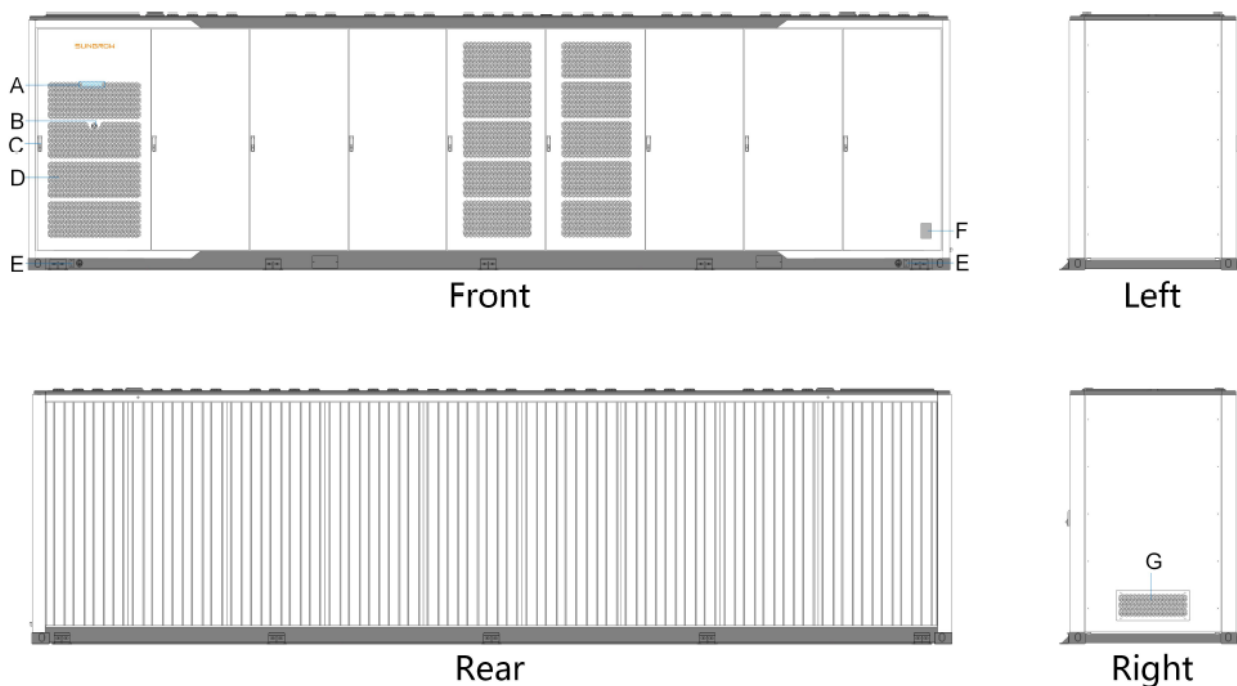
Il carico neve è stato determinato per la sola configurazione orizzontale. Dall'analisi del carico secondo normativa risulta:

3.4 PESI PROPRI

Come precedentemente indicato, il peso proprio delle strutture di supporto moduli e dei tracker può essere trascurato in quanto le azioni derivanti da tale carico saranno ridotte se rapportate all'entità di quelle generate dagli ambientali. Il peso proprio dei cabinati impianti andrà ricavato da datasheet fornitore. Si riporta di seguito reperito in letteratura in merito ai suddetti carichi.

La determinazione dei pesi delle cabine CAV è stata condotta facendo riferimento a tipologici disponibili sul mercato e rispondenti a specifiche Enel (omologazione). Nello specifico, è stato fatto riferimento a prodotti SICA CABINE S.r.l. la quale fornisce, per il modello MONOBOX 9 – (rispondente alle specifiche di costruzione Enel DG2092 REV02 – 1° luglio 2011).





I cabinati impiegati risultano di 3 tipi:

- Cabine di trasformazione di campo;
- BESS;
- Power conversion system.

Le caratteristiche dei seguenti elementi sono:

Elemento	Dimensioni mm	Peso kN	Pressione sul terreno MPa
Cabine di trasformazione	11800 x 4700 x 2800	190*	0,003426
BESS	6058 x 2896 x 2438	156,9	0,008943
Power Conversion System	12192 x 2896 x 2438	264,8	0,007499

* Per questo tipo di manufatto un peso di riferimento reperibile in letteratura commerciale è pari a 16,14 kN/ml (vuota), corrispondente a circa 190,5 kN per il componente in immagine.

4 ANALISI

I sistemi sono stati analizzati secondo un approccio elastico lineare. Nello specifico, sono stati prodotti due differenti modelli globali per meglio caratterizzare la risposta. Più specificamente si è adottato:

- Analisi elastica lineare statica per analisi della risposta della struttura soggetta a carichi statici e ambientali.

La combinazione delle azioni è stata effettuata in accordo con la vigente normativa tecnica. Nello specifico sono state considerate, ai fini delle verifiche strutturali a resistenza e spostamento, le seguenti combinazioni:

STATICHE

Resistenza – SLU eq [2.5.1] – combinazione fondamentale*.

* algoritmo di combinazione dei carichi di progetto la cui implementazione è prescritta dal vigente DM17.01.2018 -aggiornamento dell “Norme Tecniche per le Costruzioni” - par 2.5.3.

La sicurezza e le prestazioni delle strutture vengono valutate in relazione agli stati limite che possono plausibilmente raggiungersi durante la vita nominale di progetto. Nello specifico, gli stati limite ultimi identificati per la struttura in oggetto sono i seguenti:

- SICUREZZA NEI CONFRONTI DI STATO LIMITE ULTIMO (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l’incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni.

Sono stati considerati i seguenti parametri di accettabilità delle prestazioni strutturali:

SICUREZZA - rapporto di Domanda/Offerta di prestazione limite in condizioni statiche = 95% (verifica sezionale).

Di cui ai par. 2.2.1 e 2.2.2 – DM17.01.2018

4.1 SOFTWARE DI ANALISI

Per la fase di modellazione e valutazione delle sollecitazioni è stata utilizzata la seguente configurazione hardware e software:

Elaboratore	PC Windows 64 bit Processore Intel® Core™ i5-4800MQ CPU @ 2.70 GHz
Software di calcolo analisi	CSI – SAP2000 – V24 Fem analysis software – Berkley CSI.inc - USA Licenza: intestata a Sintecnica S.r.l

Per le verifiche strutturali e la determinazione dei carichi ambientali sono stati applicati i seguenti codici di calcolo.

- DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le costruzioni>> GU-20.02.2018.
- C.S.LL.PP21.01.2019,n°7 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. GU-11.02.2019

4.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Per le verifiche strutturali e la determinazione dei carichi ambientali sono stati applicati i seguenti codici di calcolo.

- DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le costruzioni>> GU-20.02.2018.
- C.S.LL.PP21.01.2019,n°7 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. GU-11.02.2019

4.3 MODELLI DI CALCOLO

Sono stati adottati i seguenti modelli di calcolo per le valutazioni in oggetto:

- Modello misto FEM – analitico per la valutazione della sezione dei pali delle strutture di supporto e tracker e della profondità di infissione.
- Modello analitico (a formula – confronto) per considerazioni sulla portanza del terreno di sedime al di sotto delle cabine.

4.4 STRUTTURE MODULI

L'analisi è stata effettuata partendo dal modello FEM delle strutture in varie inclinazioni. Le strutture in oggetto sono di tipo prefabbricato; scopo delle analisi è quindi quello di verificare l' idoneità in caso di installazione nel sito in esame.

I produttori di tali strutture tuttavia non forniscono datasheet completi dei prodotti. Non risultano disponibili ne profili utilizzati ne materiali.

Al fine di poter effettuare una analisi di idoneità dei prodotti è stata condotta una analisi inversa, ovvero individuando i profili minimi per sostegni verticali e trave, rimandando alla fase esecutiva la scelta del prodotto idoneo.

Tutte le azioni sono state successivamente combinate secondo il seguente schema (NTC2018):

Sono stati analizzati in parallelo differenti modelli (8) differenti per carico neve e vento e relativamente al dimensionamento dei pali di supporto e delle travi portanti.

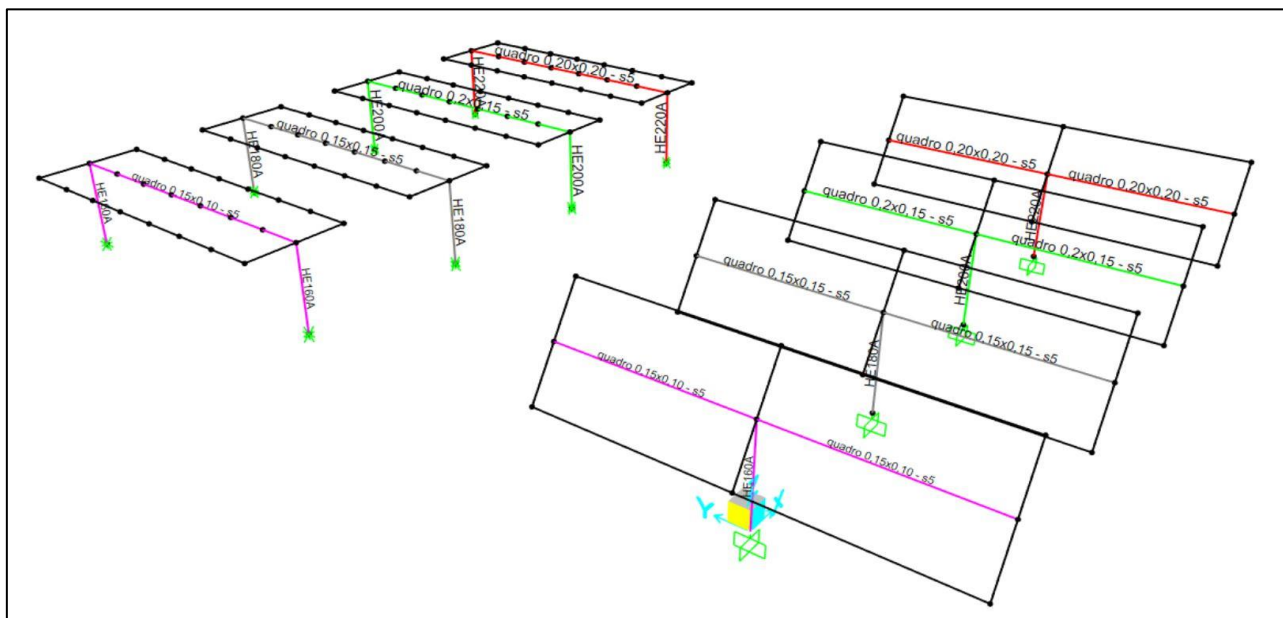
Nell'immagine sottostante, nello specifico, si ha:

- Moduli inclinati 55° - modelli per analisi vento - pali di supporto
- Moduli in piano 0° - modelli per analisi neve - trave portante principale

Nei datasheet dei tracker sono previsti dei profili IPE come pali di supporto. Tale profilo risulta non idoneo in quanto maggiormente soggetto a fenomeni di instabilità flessio-torsionale. In luogo di tali profili sono stati analizzati dei profili tipo HE, più adatti allo scopo. In fase di progettazione esecutiva si consiglia la sostituzione dei profili IPE con elementi HE.

Relativamente alle travi portanti principali, le dimensioni, gli spessori e il materiale non sono stati specificati dal produttore; sono state pertanto analizzate travi simili fornendo dimensioni indicative e i relativi tassi di lavoro.

In fase di progettazione esecutiva i valori ottenuti rappresenteranno una guida per la verifica dei profili realmente impiegati.

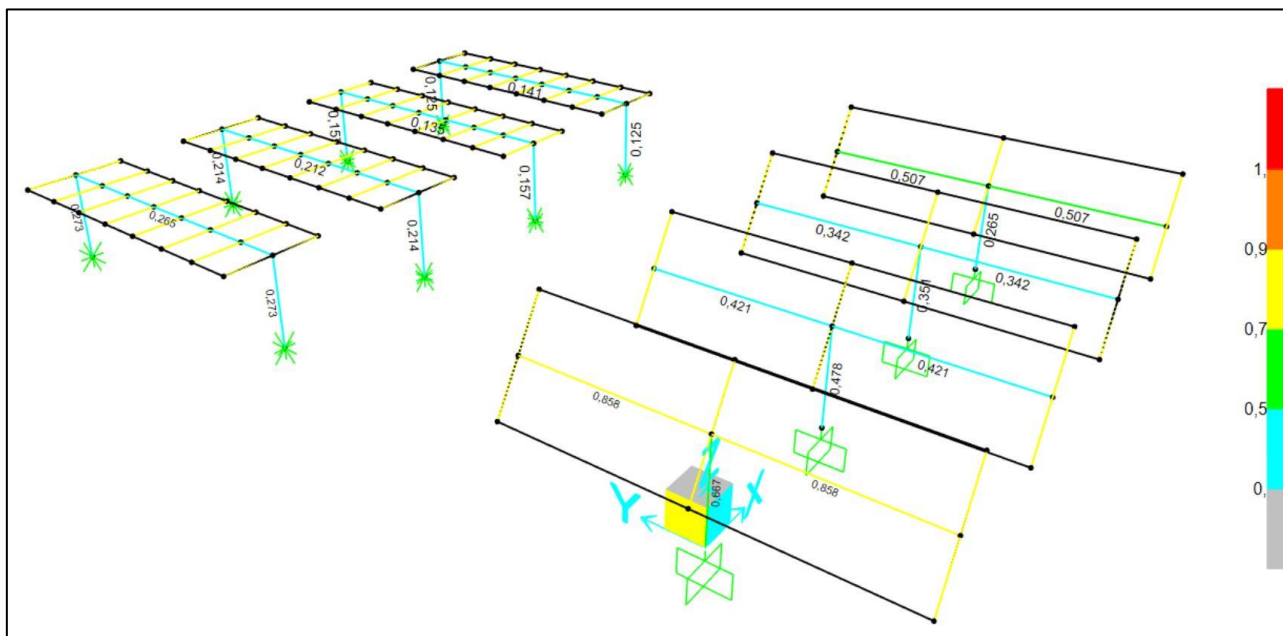


4.5 COMBINAZIONI DI VERIFICA

DSTL1	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL1			MODULI		1,3
DSTL2	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL2			MODULI		1,3
DSTL2			WIND		0,9
DSTL3	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL3			MODULI		1,3
DSTL3			WIND		-0,9
DSTL4	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL4			MODULI		1,3
DSTL4			WIND		1,5
DSTL5	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL5			MODULI		1,3
DSTL5			WIND		-1,5
DSTL6	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL6			MODULI		1,3
DSTL6			WIND		1,5
DSTL7	Linear Add	Yes	DEAD		1,3
DSTL7			MODULI		1,3
DSTL7			WIND		-1,5
DSTL8	Linear Add	Yes	DEAD		1
DSTL8			MODULI		1
DSTL8			WIND		1,5
DSTL9	Linear Add	Yes	DEAD		1
DSTL9			MODULI		1
DSTL9			WIND		-1,5
DSTL10	Linear Add	Yes	DEAD		1
DSTL10			MODULI		1

4.5 OUTPUT DI VERIFICA

La verifica strutturale per le combinazioni sopracitate è stata condotta secondo l'approccio agli stati limite, individuando nella politicizzazione locale e il collasso parziale lo stato limite di riferimento per i carichi di progetto opportunamente coefficientati. Nella figura sottostante si riporta l'esito delle verifiche per le varie configurazioni



Travi portanti - moduli	
	Max tasso di lavoro
Quadro 0,15x0,10-s5	26,5%
Quadro 0,15x0,15-s5	21,2%
Quadro 0,20x0,15-s5	13,5%
Quadro 0,20x0,20-s5	14,1%

Pali infissi	
	Max tasso di lavoro
HEA160	66,7%
HEA180	47,8%
HEA200	35,1%
HEA220	26,5%

Dalle analisi effettuate risultano le sezioni ipotizzate risultano tutte idonee. E' possibile identificare in

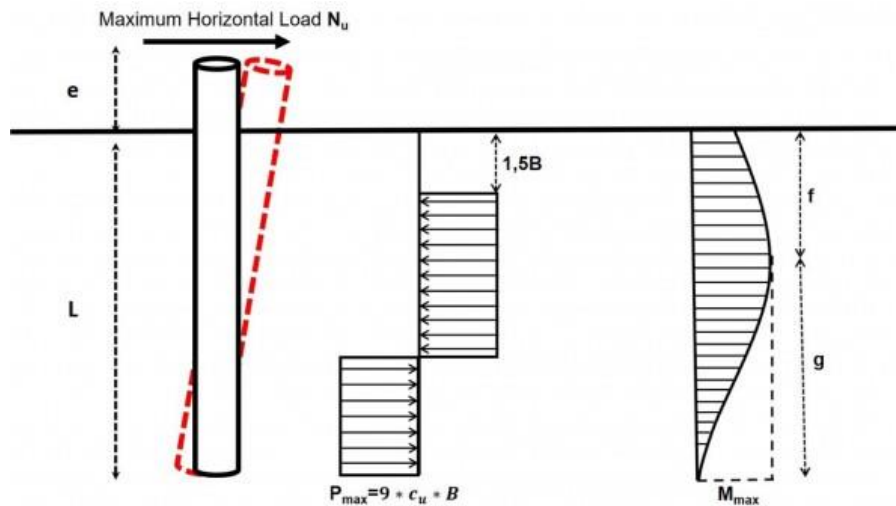
HEA160	35,1%	Idonea per resistenza
Quadro 0,15x0,15-s5	26,5%	Idonea per resistenza e rigidezza

Si procede con la valutazione della stima della profondità di ancoraggio le larghezze 150mm e 200mm adottando il metodo di Broms con le seguenti ipotesi:

- Terreno coesivo;
- Palo libero di ruotare in testa;
- Ipotesi di "palo corto";

Espressione adimensionale

$$\frac{N_U}{C_u \cdot B^2} = -9 \cdot \left(1,5 + \frac{L}{B} + \frac{2e}{B}\right) + \sqrt{2 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{e}{B}\right)^2 + 4 \cdot \frac{L}{B} \cdot \frac{e}{B} + 6 \cdot \frac{e}{B} + 4,5}$$



Dove:

L – lunghezza di infissione (target);

B – larghezza del palo;

e – offset sforzo di taglio alla base, pari a M_{ed}/N_U ;

C_u – coesione del terreno;

Visto il carattere generale dell'analisi e della ridotta disponibilità di dati di input è stata stimata la profondità di infissione per diversi casi, differenziati per larghezza del palo e coesione del terreno.

	Coesione [Mpa]
Argille molli – condizioni non drenate	0,02
Argille compatte – condizioni non drenate	0,05

	Larghezze [mm]
HEA \approx 150mm	150
HEA \approx 200mm	200

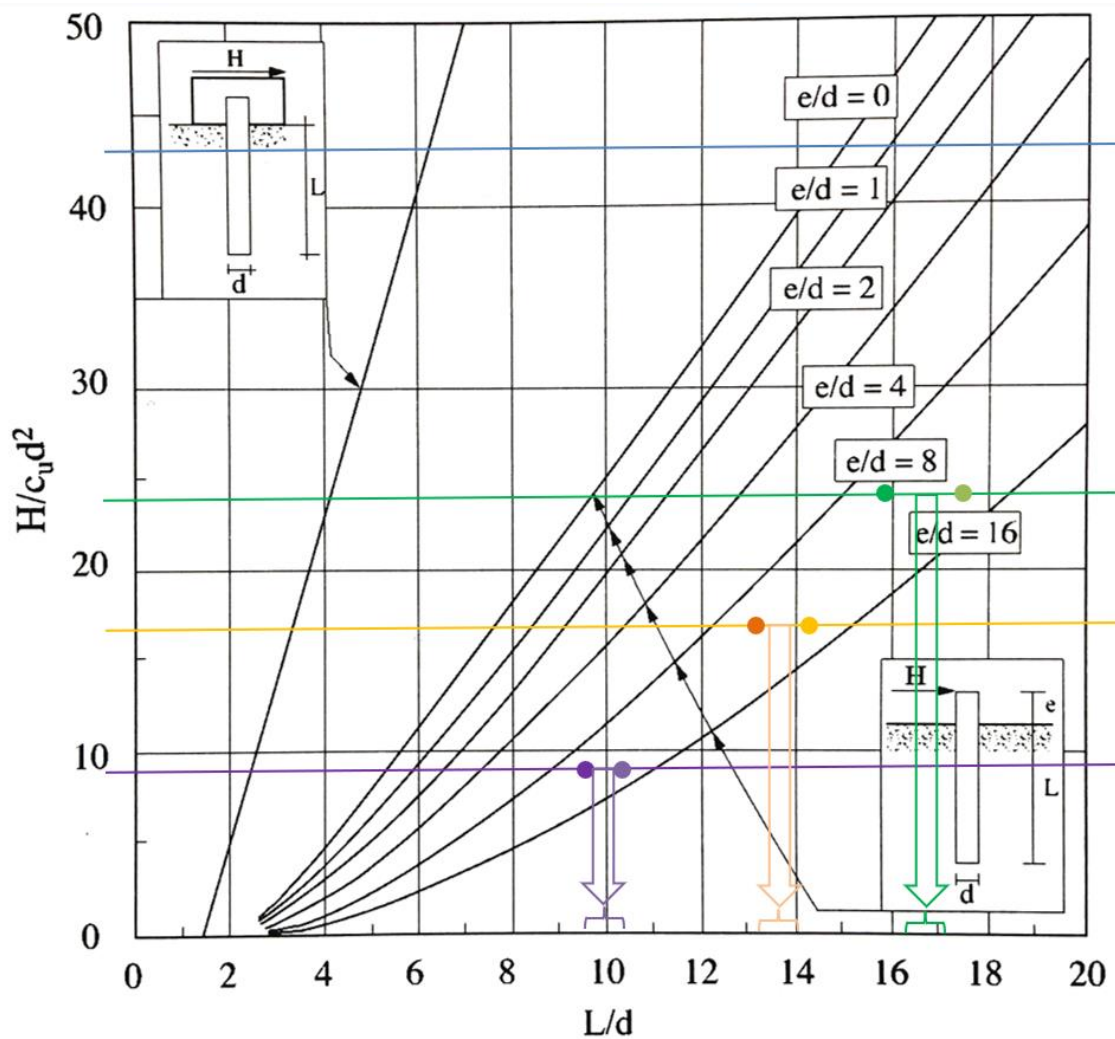
Il problema è stato risolto per via grafica, individuando profondità indicative per le varie combinazioni di larghezze dei pali e coesione.

Si calcolano i parametri di ingresso in tabella:

$\frac{H}{C_u \cdot B^2}$	Range Larghezza 150mm	Range Larghezza 200mm

$C_u = 0,02 \text{ Mpa}$	43,89	24,67
$C_u = 0,05 \text{ Mpa}$	17,54	9,87
* $d \equiv B$		

$\frac{e}{B}$	Range Larghezza 150mm	Range Larghezza 200mm
	14	10,5
* $d \equiv B$		



Dalla tabella sovrastante si ottengono i seguenti valori dei rapporti L/B e di conseguenza le profondità di infissione:

$\frac{L}{B}; L$	Range Larghezza 150mm	Range Larghezza 200mm
------------------	-----------------------------	-----------------------------

$C_u = 0,02 \text{ Mpa}$	ND	16,5
	-	3300mm
$C_u = 0,05 \text{ Mpa}$	13,5	≈10
	2025mm	2000mm
* $d \equiv B$		

Adottando i valori di N_u e M_{ed} pari ai valori massimi ottenuti per la combinazione più gravosa implementata per il dimensionamento della sezione del palo (DSTL4/5/6/7/8/9) si ottengono i seguenti valori:

Larghezza PALO (trave)	Lunghezza di infissione
150mm	ND – sconsigliabile adottare tale larghezza per i pali
200mm	Infissione , Range - 2000mm-3000mm - salvo analisi geotecniche più approfondite

Si rimanda a calcoli più specifici per un affinamento delle dimensioni delle strutture.

4.6 CABINE

Le cabine prefabbricate previste nella progettazione elettrica sono di differenti tipologie, variabili in funzione del contenuto (impianti tecnici). Come indicato nel paragrafo relativo all'analisi dei carichi, le analisi effettuate sono di tipo parametrico/convenzionale, ovvero il peso è stato stimato effettuando considerazioni miste partendo da datasheet commerciali e valori tipici dedotti da esperienze pregresse.

Le cabine utilizzate nell'impianto avranno pertanto pesi differenti per dimensioni altrettanto differenti, e conseguentemente pressioni sul terreno diverse. Convenzionalmente è stato scelto di considerare come elemento di riferimento-tipo un locale il cui contenuto è stato stimato in 500kg/m^2 , senza scendere nel dettaglio della componentistica contenuta. Tale valore può essere considerato cautelativo.

I carichi ambientali sono stati trascurati in quanto azioni limitate nel tempo e difficilmente coinvolte nel collasso geotecnico del tipo identificato per questo caso.

Riprendendo quanto specificato al paragrafo 3.3, si prende a riferimento il cabinato che trasmette la maggiore pressione sul terreno, ovvero :

elemento	dimensioni	Peso kN	Pressione Mpa
BESS	6058 x 2896 x 2438	156,9	0,008943

Dalle analisi geotecniche effettuate ed espone nell'elaborato AV.MAN.DE.CI.R.005 risulta che sotto le ipotesi cautelative svolte, per il terreno in esame, la pressione limite, corrisponde a $0,824 \text{ Mpa}$, alla quale è associato un fattore di sicurezza pari a 92. Si riporta di seguito un estratto della determinazione analitica del valore limite della pressione ammissibile sul terreno.

CALIFFO 1.3.6 - [Nuovo.cif]

File Carichi Cedimenti Strumenti Aiuto

Teoria statica di base
 Terzaghi '43 Brinch Hansen '70 EC7-2004 Roccia
 Meyerhof '63 Vesic '75 Richards '93 Greek (EAK2000) Custom

Sub-teoria per Ny: Vesic (1975) Limitazioni

Considera combinazioni sismiche per qlim, con:
 Soltanto Teoria di base $k_{hi}=0.050-k_{hk}=0.010-k_v=\pm 0.005$

Oltre alla teoria di base includi l'effetto cinematico con: Dati sismici
 Maugeri & Novità Paolucci & Pecker Cascone & Altri
 In alternativa applica Teorie globali (effetti inerziali e cinematici)
 Maugeri & Novità Paolucci & Pecker Cascone & altri
 Budhu & Al-Kami Richards & altri

$q_{ult}=c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot b_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_y \cdot s_y \cdot i_y \cdot b_y$

Geometria fondazione-terreno
 Base [B] (m): 1.00 Lunghezza [L] (m): 1.00 Dettaglio superficie rottura Copia grafico
 Profondità [D] (m): 0.50 Incl. base [a] (deg): 0.0
 Incl. pendio [b] (deg): 0.0 Pemm [q0] (kPa): 0.00

Parametri caratteristici terreno (premi INVIO per confermare i dati)

Str.	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	f_i (deg)	c' (kPa)	c_u (kPa)	Hstr (m)	Eed (kPa)	Dr
1	19.00	19.00	25.0	20.00	20.00	10.00	50000.00	0.90
2	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Parametri di calcolo dello strato equivalente (prof. 2.00 B+D=2.00+0.50 m)

Par.	γ (kN/m ³)	B	f_i (deg)	c' (kPa)	c_u (kPa)	F	Eed (kPa)	Dr
Strato eq.	19.00		25.0	20.00			50000.00	0.90

Profondità falda (m) 10.00 (dal piano di campagna)
 Calcola carico ultimo in Condizioni non drenate
 Considera punzonamento con il criterio di:
 Terzaghi Vesic (sabbie) Vesic (se $l_r < l_{r_crit}$)
 $l_r=366.10$ - $l_{r_crit}=43.84$

d>1.0: SI s (Vesic) con B' ed L' Vx, My sisma (teorie globali): SI Mod.taglio G automatico

Sezione/Stratigrafia Vista dall'alto
 Piano campagna
 Quota falda: -10.00

Risultati
 Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=0.00 kN - MB=0.00 kNm - ML=0.00 kNm
 HL=0.00 kN - HB=0.00 kN

	c	q	y
N_c, N_q, N_y	20.721	10.662	10.876
s_c, s_q, s_y	1.466	1.423	0.700
i_c, i_q, i_y			
b_c, b_q, b_y	1.000	1.000	1.000
g_c, g_q, g_y			
p_c, p_q, p_y			
e_c, e_q, e_y			

Dimensioni efficaci B' (m): 1.00
 L' (m): 1.00
 q' (kPa): 9.50

Avvisi

quit (kPa): 824.10 Quit (kN): 824.10 R: infinito > R3=2.3
 Resistenza a scivolamento (kN): 20.00 R: infinito > R3=1.1
 Minimo fattore di sicurezza quit (tra tutte le combinazioni)
 Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=0.00 kN - MB=0.00 kNm - ML=0.00 kNm
 HL=0.00 kN - HB=0.00 kN
 quit (kPa): 824.10 Quit (kN): 824.10 R: infinito > R3=2.3
 Minimo fattore di sicurezza a scivolamento (tra tutte le combinazioni)
 Combinazione 1 - Statica (proiezione alla base)
 N=0.00 kN - MB=0.00 kNm - ML=0.00 kNm
 HL=0.00 kN - HB=0.00 kN
 Resistenza a scivolamento (kN): 20.00 R: infinito > R3=1.1

5 CONCLUSIONI

Le analisi esposte nel presente elaborato sono da considerarsi indicative, in quanto non avvallate da dati di input definitivi e completi. Il carattere dei calcoli esposti è pertanto da considerarsi ragionevolmente cautelativo e non vincolante in termini di valutazione della sicurezza e prestazioni attese definitive.

Quanto sopra esposto definisce dimensioni e carichi di riferimento attendibili e compatibili con il livello di progettazione fornita. Si definiscono, in conclusione, i seguenti parametri tecnici di riferimento:

PALI

Materiale	Acciaio S275
Larghezza minima consigliato	200mm
Tipo di profilo	HEA
Profondità minima di infissione	2500mm

CABINE

Materiale	Composito
Peso a metro lineare manufatto	$P < 3000$ kg
Tipo fondazione	Prefabbricata a vasca
Profondità del piano di posa della fondazione	0,5m