





**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
COMUNI DI VILLASOR E DECIMOPUTZU**
Provincia del Sud Sardegna (SU)



**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGROVOLTAICO AVANZATO DENOMINATO VILLASOR Z**

Loc. "Sartu Is Coccus" 09034 Villasor (SU) e Loc. Mitza Cannas 09010 Decimoputzu (SU) - Sardegna, Italia
Potenza Nominale: Impianto FV 62'080,98 kWp

	Committente - Sviluppo progetto FV: Apollo Villasor S.r.l. Viale della Stazione n. 7 - 39100 Bolzano (BZ) P.IVA 03167130214, PEC: apollovillasor@legalmail.it	Gruppo di lavoro La SIA S.p.A. Riccardo Sacconi - Ingegnere Civile Antonio Dedoni - Ingegnere Idraulico Giulio Alberto Arca - Archeologo Marta Camba - Geologo Francesco Paolo Pinchera - Biologo Progettazione Agronomica (La SIA S.p.A.) Agr. Stefano Atzeni - Agronomo Agr. Franco Milito - Agronomo Progettazione Elettrica Ing. Silvio Matta – Ing. Elettrico
	Coordinamento Progettisti Innova Service S.r.l. Via Santa Margherita n. 4 - 09124 Cagliari (CA) P.IVA 03379940921, PEC: innovaserviceca@pec.it	
	Coordinamento gruppo di lavoro La SIA S.p.a. Viale Luigi Schiavonetti n. 286 – Roma (RM) P.IVA 08207411003, PEC: direzione.lasia@pec.it	

Elaborato

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE PREDIMENSIONAMENTO
FONDAZIONE**

Codice elaborato

REL_SP_STRUT

Scala

-

Formato

A4

REV.	DATA	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Maggio 2024	Ing. Riccardo Sacconi	Innova Service S.r.l.	Apollo Villasor S.r.l.

Note

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO IN RELAZIONE AGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED AI VINCOLI AMBIENTALI	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1 <i>Inquadramento geologico regionale</i>	4
3.2 <i>Inquadramento geologico locale</i>	8
3.2.1 <i>Stratigrafia</i>	11
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE	12
5. CARATTERISTICHE PRINCIPALI	13
6. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	15
7. CALCOLO DELLE AZIONI.....	16
7.1 <i>Calcolo pressione del vento</i>	16
7.2 <i>Calcolo azione del vento da applicare in Fondazione</i>	19
7.3 <i>Verifica della Fondazione su micropali in acciaio</i>	20

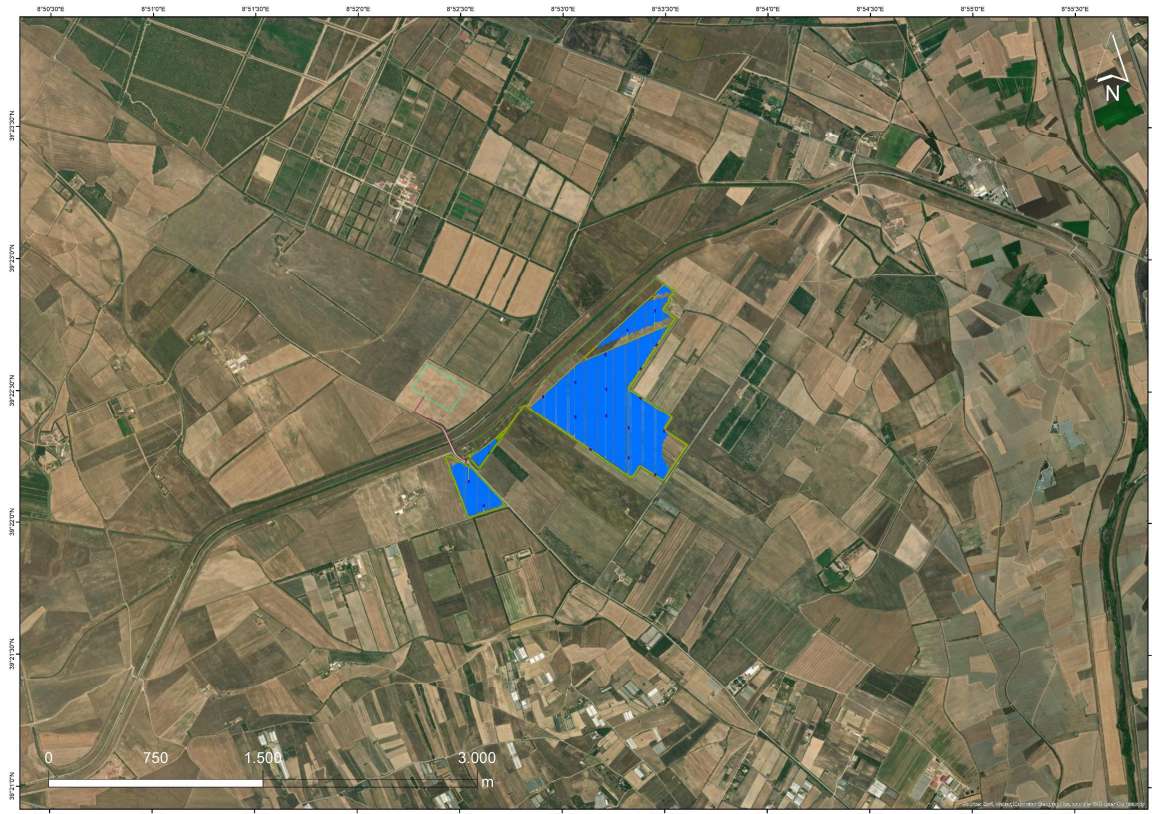
1. PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto di realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica della potenza di picco di **62.080,98 kW** nel territorio dei Comuni di Villasor e Decimoputzu (SU), in località "Sartu Is Coccus" nel Comune di Villasor (SU) e loc. "Mitza Cannas" nel Comune di Decimoputzu (SU).

2. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO IN RELAZIONE AGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED AI VINCOLI AMBIENTALI

Viene di seguito esposta la caratterizzazione localizzativa - territoriale del sito sul quale è previsto l'impianto e la rispondenza dello stesso alle indicazioni urbanistiche comunali, provinciali e regionali. Da tali dati risulta evidente la bontà dei siti scelti e la compatibilità degli stessi con le opere a progetto, fermo restando l'obbligo di ripristino dello stato dei luoghi a seguito di dismissione dell'impianto.

L'impianto in progetto ricade all'interno dei territori comunali di Villasor e di Decimoputzu, comuni della provincia del Sud Sardegna. Si trovano al centro del Campidano di Cagliari, distano dal capoluogo circa 20-25 km e vi è collegamento tramite la linea ferroviaria Cagliari-Golfo Aranci e la strada statale 196.



L'area deputata all'installazione dell'impianto in oggetto risulta essere molto adatta allo scopo in quanto presenta un'esposizione ottimale ed è ben raggiungibile ed accessibile attraverso le vie di comunicazione esistenti.

La superficie di installazione dell'impianto si presenta con pendenze pressoché nulle o lievi, tali caratteristiche risultano agevolare sia la soluzione di layout che gli interventi di futura manutenzione richiesti in esercizio.



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 *Inquadramento geologico regionale*

L'ossatura della Sardegna è caratterizzata da un basamento Paleozoico e da coperture tardoerciniche, mesozoiche, e cenozoiche (paleogeniche, oligo-mioceniche e plio-plestoceniche) differenti per ambiente e significato geodinamico.

Il basamento Paleozoico è costituito da metamorfiti intruse da unità plutoniche di composizione prevalentemente granitoida (Carmignani et al., 1991 e riferimenti). Questo basamento rappresenta un frammento della catena ercinica sudeuropea, originata dalla collisione fra i margini continentali Armoricano e di Gondwana (Carmignani et al., 1992); esso è caratterizzato da un marcato aumento del grado metamorfico da SW a NE (Di Simplicio et al., 1974; Franceschelli et al., 1982). Procedendo da SW a NE, la catena ercinica della Sardegna è stata

storicamente divisa in tre principali zone: esterna, a falde di ricoprimento e assiale (Carmignani et al., 1982; 1986 cum bibl.).

Le sequenze metamorfiche del basamento paleozoico sono caratterizzate da metamorfismo progrado di tipo Barroviano dalla zona esterna (facies degli scisti verdi) a quella assiale (facies anfibolitica). Durante le fasi postcollisionali, caratterizzate dal collasso e dall'esumazione dell'edificio a falde di ricoprimento, tutto il basamento metamorfico è stato iniettato da una serie di plutoni ad affinità calcalkalina composizionalmente variabili da granodioriti a leucograniti, con quantità accessorie di rocce gabbroidi e tonalitiche, costituenti nell'insieme il batolite sardo. L'età di messa in posto è riferibile ad un intervallo temporale 310-300 Ma (Di Simplicio et al., 1974; Secchi et al., 1991; Di Vincenzo et al., 1992). Età radiometriche leggermente più recenti e riferibili a 286 Ma, sono state ottenute con il metodo Ar/Ar su plutoniti granitiche affioranti nel Sàrrabus meridionale (Sardegna sud-orientale; Dini et al., 2005).

Tutto il batolite è attraversato da uno sciame di filoni ad andamento variabile a seconda della regione. Esso è dominato da rocce basiche ("lamprofiri" Auct.) e francamente granitiche riferibili ad un intervallo di tempo compreso fra 290 ± 10 e 230 ± 10 Ma sulla base di numerosi dati radiometrici Ar-Ar e Rb-Sr (Vaccaro et al., 1991). Coperture tardo-erciniche. Durante le fasi estensionali della tettonica tardo-ercinica, si sviluppano dei bacini, colmati, in seguito, da successioni vulcaniche di stirpe orogenica e sedimentarie note in letteratura come "coperture tardo-erciniche". Tali coperture comprendono depositi dei bacini carbonifero-permiani sviluppatisi durante la fase distensiva post-collisionale, contemporaneamente all'esumazione della catena e alla messa in posto del batolite e di buona parte del suo corteo filoniano (Carmignani et al., 1991).

Tali successioni giacciono in netta discordanza angolare sul basamento metamorfico in diversi settori dell'Isola. Questa attività vulcanica è generalmente considerata come la parte finale del ciclo intrusivo tardo-ercinico (Bralia et al., 1981 e riferimenti).

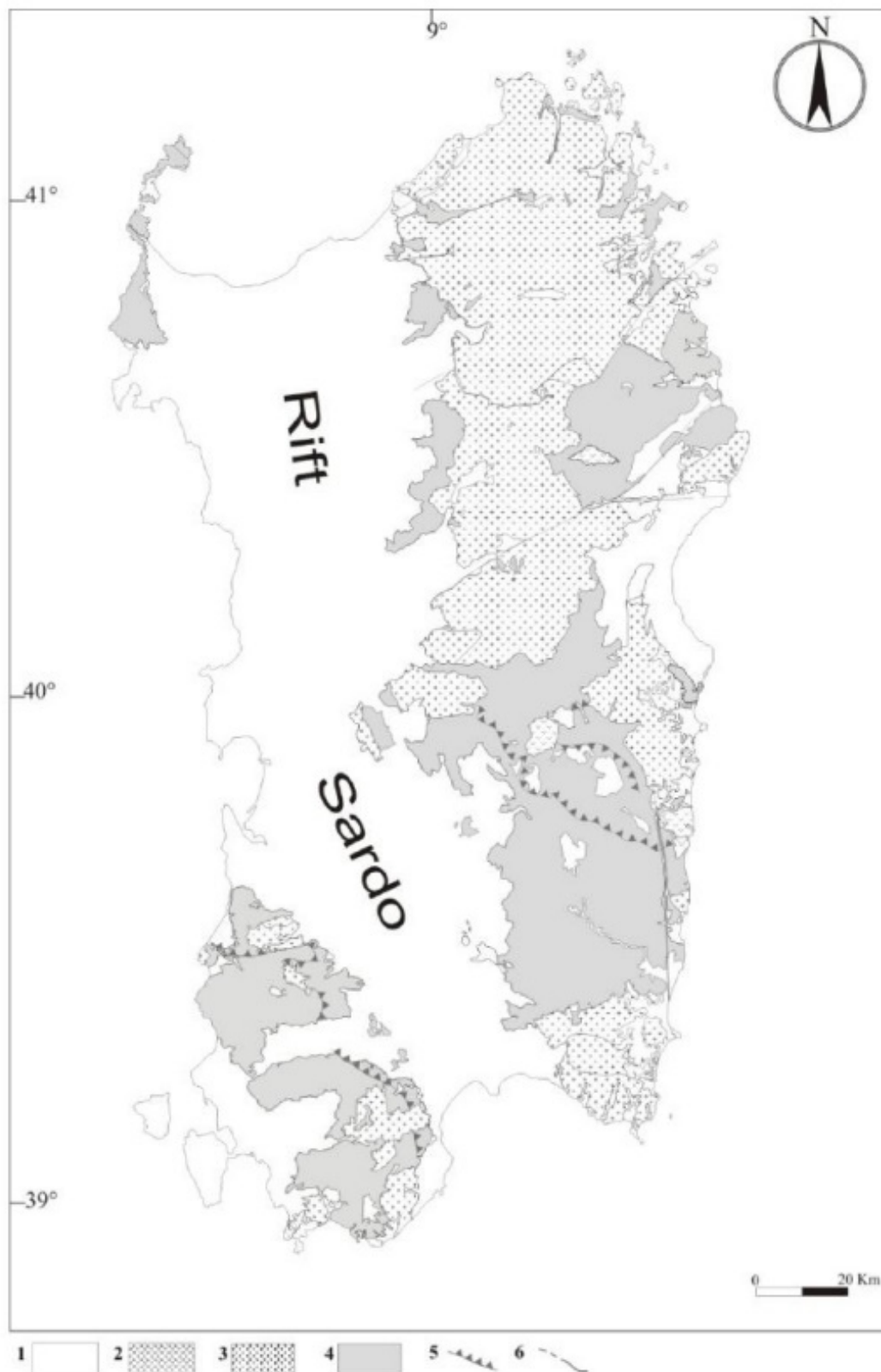


Fig.: Schema geologico semplificato del basamento paleozoico della Sardegna. (1) Coperture post-paleozoiche. (2) coperture vulcanosedimentarie tardo-erciniche; 3-4 basamento paleozoico; (3)

granitoidi; (4) basamento metamorfico. Altri simboli: (5) accavallamenti principali; (6) faglie. Da Carmignani et al. (1991), modificato.

Le coperture mesozoiche sono rappresentate da successioni dominate da rocce carbonatiche di ambiente prevalentemente marino. Esse superano complessivamente i 1000 m di spessore ed affiorano diffusamente nella Sardegna orientale, nella Nurra meridionale, e nel Sulcis. Affioramenti più o meno discontinui di rocce mesozoiche caratterizzano il Sarcidano e la Barbagia (regione dei tacchi). Le coperture paleogeniche affiorano diffusamente nel Sulcis e nel Cixerri e in maniera discontinua nella Sardegna centrale. Esse raggiungono localmente i 400 m di spessore e sono costituite da sedimenti terrigeni di ambiente marino e continentale. Nel Sulcis, contengono potenti intercalazioni di carbone ("lignitifero" Auct.). Tettonicamente, sono riferibili alla chiusura eoligocenica dei Pirenei ad ovest e delle Alpi occidentali che proseguivano a est del paleo blocco Sardo-Corso.

Coperture oligo-mioceniche. La porzione occidentale della Sardegna è dominata da coperture sedimentarie e vulcaniche orogeniche oligo-mioceniche che colmano il cosiddetto Rift sardo (Cherchi & Montadert, 1982; Fig. 2.2/B). Le sequenze del Rift, potenti sino a 1 000 m, affiorano diffusamente dal Logudoro-Meilogu sino alle estreme propaggini del Campidano meridionale e costituiscono uno dei tratti geologici e geomorfologici più importanti dell'Isola. Le successioni orogeniche affiorano nella Sardegna sudoccidentale (Sulcis) fuori dal Rift principale e costituiscono la zona vulcanica sudoccidentale nella zoneografia proposta da Lecca et al. (1997).

Nell'insieme, il Rift sardo è colmato da imponenti successioni vulcaniche e sedimentarie costituite da rocce andesitiche, ignimbriti e sedimenti prevalentemente di ambiente marino. Le successioni del Sulcis, poste fuori dal Rift, appaiono piuttosto caratteristiche. Esse nella porzione terminale contengono, infatti, successioni peralcaline (comenditi) leggermente più recenti rispetto alle successioni del Rift principale; non si osservano inoltre sequenze marine post-vulcaniche ampiamente diffuse nella Sardegna meridionale (Campidano meridionale) e nord-occidentale (Logudoro-Meilogu).

Le successioni vulcaniche sono nell'insieme riferibili all'intervallo temporale 27-15 Ma sulla base di numerosi dati radiometrici K/Ar, Rb/Sr e Ar/Ar (Morra et al., 1994; Lecca et al., 1997 e riferimenti). Sulla base dei dati stratigrafici e tettonici, Lecca et al. (1997) successivamente Sau et al. (2005) distinguono due fasi di Rift (Fig. 2.2B). Un quadro stratigrafico moderno è anche fornito da Assorgia et al. (1997). Le coperture vulcaniche anorogeniche.

Le fasi di apertura del Tirreno contribuiscono alla riattivazione del Rift sardo e all'instaurarsi di un vulcanismo anorogenico. Dal punto di vista tettonico, tale riattivazione non è però omogenea.

La Sardegna meridionale e centrale è dominata da processi di subsidenza, che originano ad esempio il graben del Campidano, mentre quella settentrionale è caratterizzata da innalzamenti isostatici e basculamento dei principali blocchi tettonici, che innescano fasi erosionali. Il ciclo vulcanico anorogenico plio-pleistocenico è caratterizzato da talora estesi espandimenti di rocce prevalentemente basiche ad affinità alcalina, transizionale e subalcalina (Beccaluva et al., 1987).

Esse costituiscono gli altopiani di Abbasanta, Paulilatino ed altri minori espandimenti nel Meilogu e nella Sardegna meridionale (giare). Complessi centrali sono invece rappresentati dal Montiferru e dal M.te Arci ai bordi settentrionali della fossa campidanese.

3.2 *Inquadramento geologico locale*

Nello specifico, il progetto interessa le tre diverse facies dei depositi alluvionali terrazzati Olocenici:

bna_Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

bnb_Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE









bnc_Depositi alluvionali terrazzati. Limi ed argille. OLOCENE

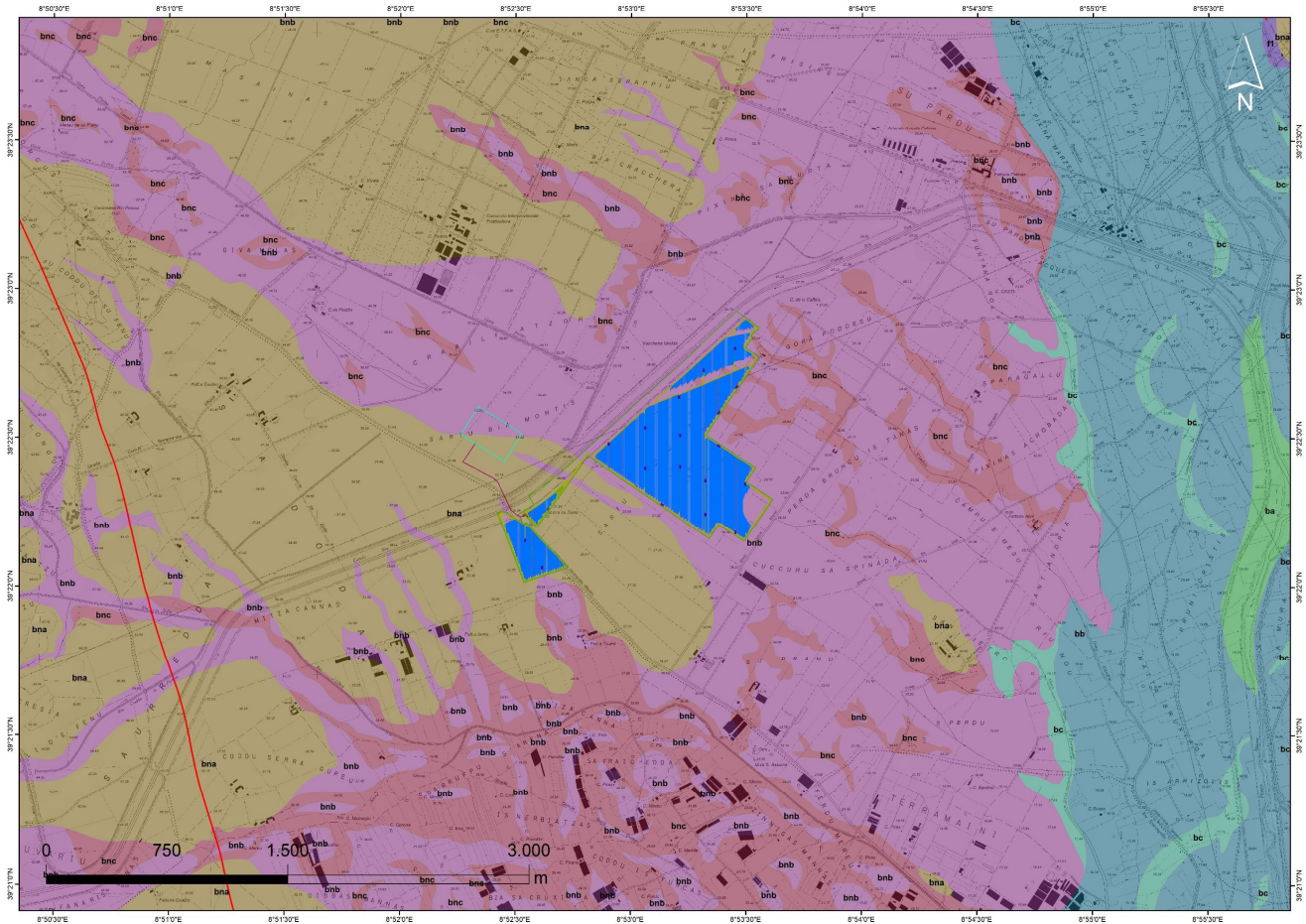
Sono depositi posti ai lati dei letti attuali o dei tratti di alveo reimati ed in genere non interessati dalle dinamiche in atto. Tratti limitati di questa unità potrebbero essere interessati da dinamiche alluvionali durante eventi idrometeorici eccezionali.

In riferimento alle caratteristiche geostrutturali, nell'area in questione non sono emersi dei caratteri tettonici significativi all'opera interessata dall'intervento. L'area è inserita all'interno del graben del Campidano, il quale è costituito da una serie di faglie distensive che hanno appunto provocato lo sprofondamento della crosta terrestre e formazione della fossa.

Questo movimento tettonico viene fatto risalire all'intervallo di tempo geologico medio Pliocene – inizio Pleistocene, circa da 4 a 2 milioni di anni fa e fu associato a importanti eventi effusivi. In seguito, la fossa fu interessata da fenomeni di sedimentazione alluvionale che portarono uno spessore di circa 600 metri di sedimenti continentali e deltizi ed il seppellimento del sistema di faglie presenti all'interno della fossa del campidano.

Litologie

-  ba_Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
-  bb_Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE
-  bc_Depositi alluvionali. Limi ed argille. OLOCENE
-  bna_Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  bnb_Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE
-  bnc_Depositi alluvionali terrazzati. Limi ed argille. OLOCENE
-  f1_Travertini. Depositi carbonatici stratificati, da compatti a porosi, con tracce di resti vegetali e gusci di invertebrati. Derivano in parte da acque termali. OLOCENE
-  Faglia



L'area geomorfologicamente significativa è quell'area all'interno della quale gli agenti morfodinamici vanno ad interessare indirettamente o direttamente l'opera oggetto di studio.

L'area di progetto è inserita nella piana del campidano, contesto geomorfologico prettamente sub pianeggiante e dominato da dinamiche fluviali. Durante le piogge, le basse pendenze combinate alla presenza di suoli a bassa permeabilità, favoriscono la formazione di un velo superficiale d'acqua uniforme, il quale defluendo lentamente lungo le linee di maggior pendenza, asporta il materiale incoerente determinando così la formazione di tanti piccoli rivoli.

Relativamente alle condizioni topografiche, l'area d'intervento è inquadrabile in categoria T1, ovvero "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$ ".

Per quanto attiene la definizione delle categorie di sottosuolo, ai sensi del D.M. 17/01/2018, l'area d'intervento risulta costituita da materiali alluvionali pleistocenici e cenozoici molto addensati, riconducibili quindi ad una categoria di sottosuolo prevalente di tipo "C" ovvero:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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 $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>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 $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>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 $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>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).</i>

L'idrografia superficiale è direttamente connessa con le caratteristiche idrogeologiche degli elementi idrici presenti nell'area. Rispetto a quanto riportato negli elaborati cartografici si può certamente confermare che l'area di futura occupazione dell'impianto non interferisce con linee di deflusso superficiale dei corsi d'acqua. Limitatamente alla falda sotterranea, si ritiene che le opere in progetto non interferiscano con le falde idriche presenti nella zona.

In particolare, da un'analisi del data base ISPRA emerge che l'area d'intervento presenta una falda acquifera con quota piezometrica (livello statico) sistemata ad una profondità di circa 8.00 m dal p.d.c., tenendo presente che questo livello tende a variare risentendo dei caratteri di stagionalità, pertanto non sono da escludersi fenomenologie di risalita della falda durante le stagioni più piovose.

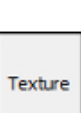


Trattandosi di opere infrastrutturali fissate con fondazioni profonde (pali) e superficiali sul piano di campagna, vista la tipologia di materiali presenti, si ritiene che la risalita della falda sia da ritenersi ininfluenza con la tipologia di opere previste in progetto.

3.2.1 Stratigrafia




Nell'ambito della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni si fa sempre riferimento a quello che viene comunemente definito "volume significativo del terreno" ossia quella porzione di suolo e di sottosuolo che viene influenzato direttamente o indirettamente dall'azione di progetto trasmessa dal manufatto. In effetti, come tutti i materiali, anche nei terreni, la risposta alle sollecitazioni varia in funzione delle proprietà meccaniche di resistenza e dello sforzo a cui sono soggetti. Nel complesso, la sequenza stratigrafica presente nel sito è la seguente (dalla superficie):

Parametri riassuntivi delle prove penetrometriche


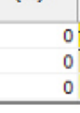
DIN 1

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm ²)	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.1	9	1.505	65.55	13	1.82	1.94	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
0.2	23	1.505	167.51	34	2.17	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		limo sabbioso
0.4	39	1.505	284.04	58	2.27	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

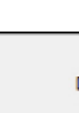
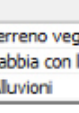

DIN 2

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm ²)	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.2	6	1.505	43.7	9	1.7	1.91	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
0.3	27	1.505	196.64	40	2.2	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia con limo
0.5	48	1.505	349.58	72	2.43	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN 3

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm ²)	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.2	18	1.505	131.1	27	2.1	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia con limo
0.4	43	1.505	313.17	64	2.32	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		terreno vegetale

DIN 4

Prof. Strato (m)	N DPM (Minimo)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Minima (Kg/cm ²)	Nspt Minimo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.3	1	1.505	7.28	1	1.35	1.86	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		terreno vegetale
0.7	9	1.505	65.55	13	1.82	1.94	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia con limo
1	23	1.505	158.14	34	2.17	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

Ai fini delle verifiche geotecniche, sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici:

Nr.	Hs	Peso unità di Volume [kN/m3]	Peso Unità di volume Saturo [kN/m3]	c [kN/m2]	Fi (°)	Attrito negativo	Modulo elastico [MN/m2]	Descrizione litologica
1	0.20	17.00	19.10	0.00	23.00	No	14.70	Suolo
2	0.30	19.00	20.50	0.00	33.00	No	4.00	Sabbie limose
3	6.00	19.50	20.70	15.00	35.00	No	66.00	Ghiaie sabbioso argilloso limose

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

La realizzazione dell'impianto sarà eseguita mediante l'installazione di moduli fotovoltaici a terra installati su sistema ad inseguimento monoassiale che raggiunge +/- 60°G di inclinazione rispetto al piano di calpestio sfruttando interamente un rapporto di copertura non superiore al 50% della superficie totale. Il fissaggio della struttura di sostegno dei moduli al terreno avverrà a mezzo di un sistema di fissaggio del tipo a infissione con battipalo nel terreno e quindi amovibile in maniera tale da non degradare, modificare o compromettere in qualunque modo il terreno utilizzato per l'installazione e facilitarne lo smantellamento o l'ammodernamento in periodi successivi senza l'effettuazione di opere di demolizione scavi o riporti. Nel caso specifico, essendo in presenza di terreni mediamente addensati molto consistenti, saranno realizzati dei prefori per facilitare l'infissione del palo.

Il movimento dei moduli avviene durante l'arco della giornata con piccolissime variazioni di posizione che ad una prima osservazione darà l'impressione che l'impianto risulti fermo.

L'impianto in progetto, del tipo ad inseguimento monoassiale (inseguitori di rotolio), prevede l'installazione di strutture di supporto dei moduli fotovoltaici (realizzate in materiale metallico), disposte in direzione Nord-Sud su file parallele ed opportunamente spaziate tra loro (interasse di 8.50 m), per ridurre gli effetti degli ombreggiamenti.

Le strutture di supporto sono costituite fondamentalmente da tre componenti:

- 1) I pali in acciaio zincato, direttamente infissi nel terreno previo preforo;
- 2) La struttura porta moduli girevole, montata sulla testa dei pali, composta da profilati in alluminio, sulla quale vengono posate due file parallele di moduli fotovoltaici;
- 3) L'inseguitore solare monoassiale, necessario per la rotazione della struttura porta moduli.

L'inseguitore è costituito essenzialmente da un motore elettrico che tramite un'asta collegata al profilato centrale della struttura di supporto, permette di ruotare la struttura durante la giornata, posizionando i pannelli nella perfetta angolazione per minimizzare la deviazione dall'ortogonalità dei raggi solari incidenti, ed ottenere per ogni cella un surplus di energia fotovoltaica generata.

L'inseguitore solare serve ad ottimizzare la produzione elettrica dell'effetto fotovoltaico (il silicio cristallino risulta molto sensibile al grado di incidenza della luce che ne colpisce la superficie) ed utilizza la tecnica del backtracking, per evitare fenomeni di ombreggiamento a ridosso dell'alba e del tramonto. In pratica nelle prime ore della giornata e prima del tramonto i moduli non sono orientati in posizione ottimale rispetto alla direzione dei raggi solari, ma hanno un'inclinazione minore (tracciamento invertito). Con questa tecnica si ottiene una maggiore produzione energetica dell'impianto agrivoltaico avanzato, perché il beneficio associato all'annullamento

dell'ombreggiamento e superiore alla mancata produzione dovuta al non perfetto allineamento dei moduli rispetto alla direzione dei raggi solari.

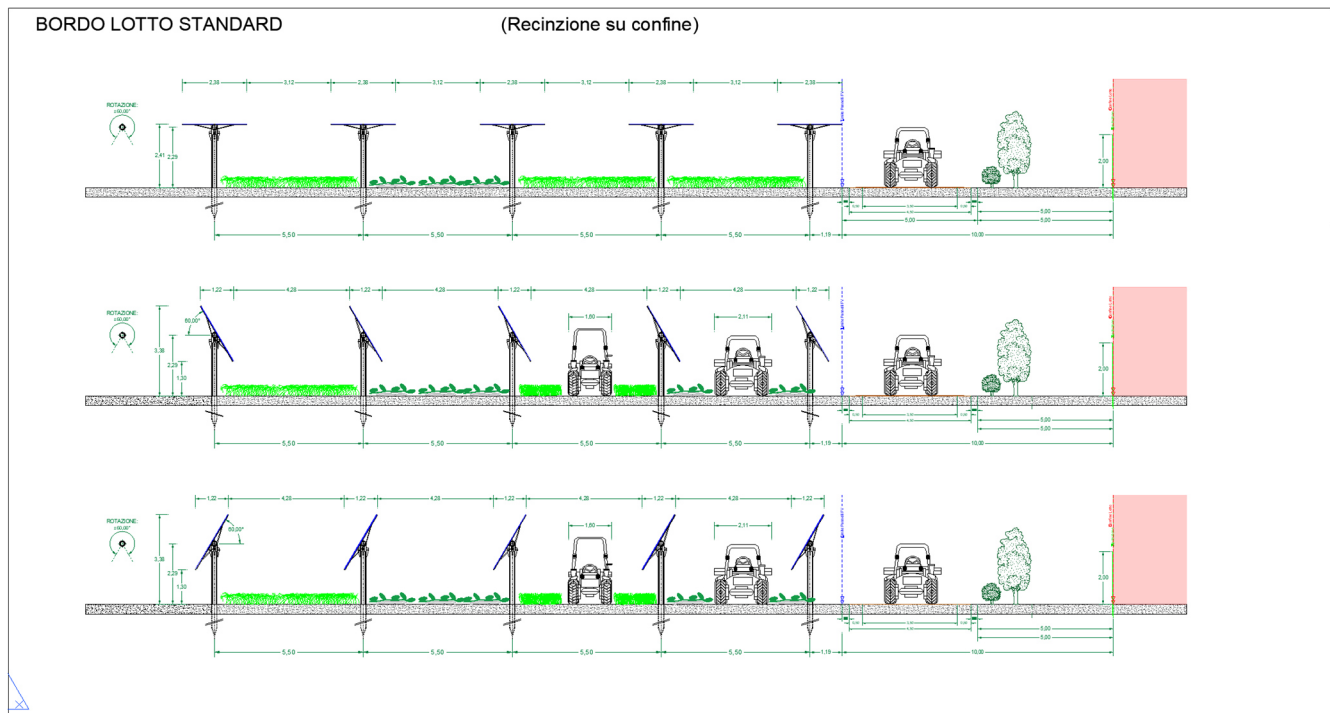


Fig. – Dettaglio trasversale struttura

L'altezza dei pali di sostegno è stata fissata in modo tale che lo spazio libero tra il piano campagna ed i moduli di larghezza 2,38m, alla massima inclinazione, sia superiore a 1,3 m, per agevolare la fruizione del suolo per le attività agricole. Di conseguenza, l'altezza massima raggiunta dai moduli è di 3,38 m ad un'inclinazione massima di $+60^\circ$. La larghezza in sezione delle suddette strade è variabile da 4,28 a 5,00m, pertanto i mezzi utilizzati nelle fasi di cantiere e di manutenzione e in fase di sfruttamento agricolo del fondo potranno operare senza alcuna difficoltà. La tipologia di struttura prescelta, considerata la distanza tra le strutture gli ingombri e l'altezza del montante principale si presta ad una perfetta integrazione impianto tra impianto agrivoltaico avanzato ed attività agricole.

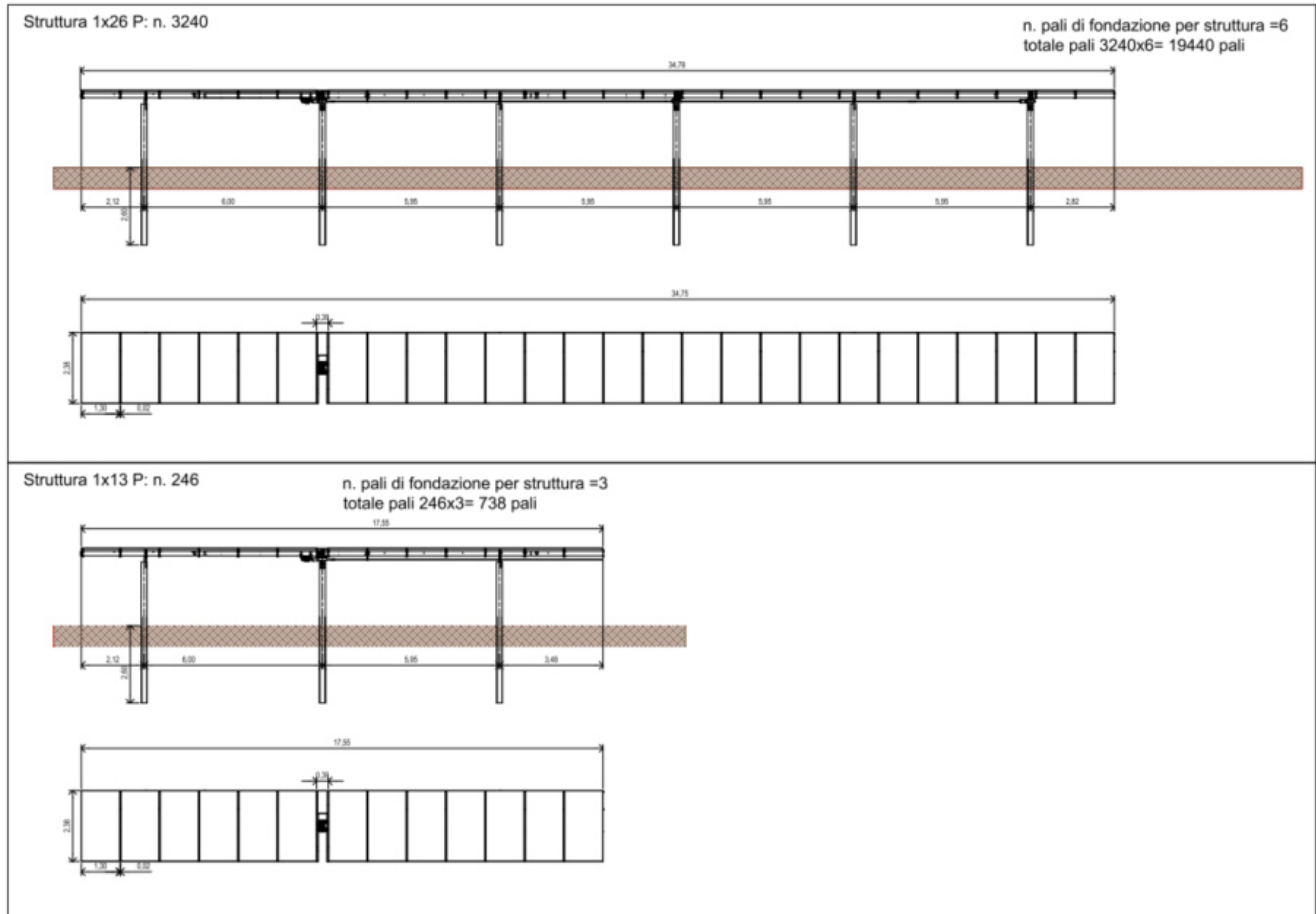
5. CARATTERISTICHE PRINCIPALI

La struttura del tracker TRJ è completamente adattabile in base alle dimensioni del pannello fotovoltaico, alle condizioni geotecniche del sito specifico e alla quantità di spazio di installazione disponibile. La configurazione elettrica delle stringhe (x moduli per stringa) verrà raggiunta utilizzando la seguente configurazione di tabella dell'inseguitore con moduli fotovoltaici disponibile in verticale: per ogni x stringa PV, proponiamo Tracker Monoassiale tipo 1P. Nelle configurazioni:

Struttura 1x26, 1 x13, 1x7 e 1x6 moduli fotovoltaici in verticale per sfruttare al meglio l'area a disposizione.

Struttura utilizzata:	pannelli FV posizionati su Tracker monoassiali ad asse N-S, con formazione 1P, azimut=0°, Tilt= ±60°, distanza tra le carpenterie pari a 0.5 m, e distanza tra le file (Pitch) pari a 5.5 m.			
Tipologia di struttura	Formazione	Numero	Potenza	U.M.
Struttura D	(1x)	0	0	kW
Struttura C	(1x)	0	0	kW
Struttura Media	(1x13)	246	2 270 580	kW
Struttura Grande	(1x26)	3 240	59 810 400	kW
Strutture Totali:		3 486	62 080 980	kW

TRACKER monoassiale tipo 1P



Il sistema di supporto dei moduli fotovoltaici prevede, come opera di fondazione, sostegni verticali conficcati direttamente nel terreno ad una profondità di 2,60 metri ed interasse di 5,95metri.

Visti i risultati delle indagini geologiche che rilevano materiale addensato e costipato fino a 9m (vedi relazione geologica allegata) provvederà ad effettuare dei fori a misura con il martello fondo-foro, ed il successivo reinterro del terreno frammentato estratto con l'inserimento del sostegno verticale con la macchina batti-palo. I pali infissi nel terreno saranno in acciaio galvanizzato a caldo. La struttura metallica di montaggio dei moduli fv sarà fissata alla fila di pali. L'intelaiatura, che comprenderà una trave maestra e altre trasversali, sarà in alluminio. Tale intelaiatura sarà fissata ai pali per mezzo di ganci ed asole.

Tutti i componenti di fissaggio saranno realizzati in acciaio puro.

I moduli fotovoltaici saranno fissati alla struttura di supporto attraverso delle grappe adatte, come richiesto dal manuale di installazione dei moduli.



6. INQUADRAMENTO NORMATIVO

- Legge 64/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”. Indicazioni progettuali per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.
- Decreto Ministero Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le Costruzioni”
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti “Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018”

7. CALCOLO DELLE AZIONI

Di seguito viene riportato il calcolo dell'azione da vento (azione dominante) gravante sull'impianto agrivoltaico avanzato e che dovrà essere sostenuta dalla struttura di fondazione.

Il singolo pannello relativo all'impianto agrivoltaico avanzato è di dimensioni pari a circa 1,30m x 2,40m. Il carico generato dai moduli e dalla struttura di sostegno dell'impianto agrivoltaico avanzato è pari a:

$$P_{\text{impianto}} = n_{\text{pannelli}} \times P_{\text{pan+sostegno}} = 27 \times 100 \text{kg} = 2700 \text{ kg}$$

L'azione del vento di seguito riportata è stata considerata agente sui moduli con una inclinazione pari a 60°

7.1 Calcolo pressione del vento

La pressione del vento, calcolata secondo il D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni", e Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018" di seguito riportata in forma sintetica nella tabella seguente ed evidenziata dal riquadro rosso:

LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Ubicazione:

Località	VILLASOR
Provincia	SUD SARDEGNA
Regione	SARDEGNA
Latitudine	39,38100 N
Longitudine	8,94300 E
Altitudine s.l.m.	25,0 m

CALCOLO DELLE AZIONI DELLA NEVE E DEL VENTO

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

Circolare n.7 - 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP.

NEVE

Il carico della neve sulle coperture è calcolato in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale;

Esp.: zona topografica di esposizione al vento;

Ce: coefficiente di esposizione al vento;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

as: altitudine del sito;

qsk: valore caratteristico del carico della neve al suolo (per $Tr = 50$ anni);

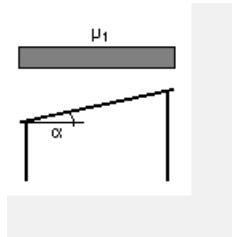
Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
III	Battuta dai venti	0,90	50 anni	25 m	60,00

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 30,0^\circ$

$m_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 43 \text{ daN/mq}$

Schema di carico:



VENTO

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.I);

$V_{b,0}$: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

a_0 : altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

k_s : parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.I);

as: altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

V_b : velocità di riferimento calcolata come segue:

$$V_b = V_{b,0} \text{ per } a_s \leq a_0$$

$$V_b = V_{b,0} (1 + k_s ((a_s / a_0) - 1)) \text{ per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

per $a_s > 1500 \text{ m}$ vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per $a_s = 1500 \text{ m}$

Cr: coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR

Vr: velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	Vb,0	a0	ks	as	TR	Vb	Cr	Vr
5	28 m/s	750 m	0,40	25 m	50 anni	28,00 m/s	1,000	28,00 m/s

Pressione cinetica di riferimento, $q_r = r V_r^2 / 2 = 49 \text{ daN/mq}$

dove: r è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc)

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 30 km dal mare

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0,19	0,05 m	4 m

Classe di rugosità del terreno: D (NTC - Tab. 3.3.III)

Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,..)

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

Cp: coefficiente di pressione;

Cd: coefficiente dinamico;

Ct: coefficiente di topografia;

Ce: coefficiente di esposizione (funzione di z, z0 e Ct);

z: altezza sul suolo.

Cp	Cd	Ct	Ce	z
1,00	1,00	1,00	1,80	3,50 m

Pressione del vento

$$p = q_r C_e C_p C_d = 88 \text{ daN/mq}$$

TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

Le temperature esterne, T max (massima estiva) e T min (minima invernale), sono calcolate secondo le seguenti espressioni riferite alla zona climatica:

$$T_{\min} = -8 - 6 a_s / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.3})$$

$$T_{\max} = 42 - 2 a_s / 1000 \quad (\text{NTC 3.5.4})$$

dove as è l'altitudine di riferimento

Zona	as	T min	T max
II	25 m	-8,15 °C	41,95 °C

7.2 *Calcolo azione del vento da applicare in Fondazione*

La pressione del vento calcolata precedentemente ha portato alla determinazione delle sollecitazioni più gravose da applicare in fondazione considerando un'area di influenza pari a $2,5 \times 6 = 15 \text{mq}$ ed un coefficiente maggiorativo pari a 1,2,

AZIONI CARATTERISTICHE (ESTRADOSSO FONDAZIONE)		
N [kg]	V [kg]	M [kgm]
1200,00	1584,00	3168,00

7.3 Verifica della Fondazione su micropali in acciaio

- Micropali con tubolare in acciaio con infissione a secco su preforo

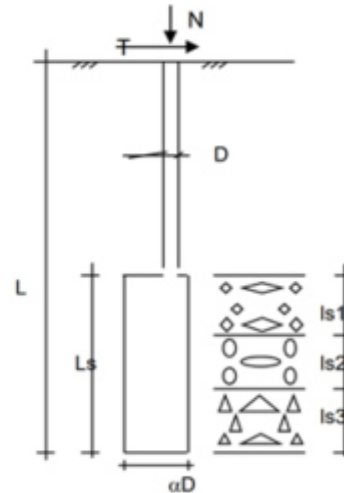
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: VILLASOR Z

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	12,00	0,00	12,00
T (kN)	15,84	0,00	15,84



coefficienti parziali	azioni		proprietà del terreno	
	permanenti	temporanee variabili	ξ	γ_s
Metodo di calcolo	γ_g	γ_g		
Stato limite ultimo <input type="radio"/>	1,00	1,30	1,50	1,30
Tensioni ammissibili <input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dall'utente <input checked="" type="radio"/>	1,00	1,50	1,00	1,30

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0,18 (m)
 Lunghezza del micropalo (L): 2,60 (m)

Armatura:

Diametro dell'armatura (Darm): 193,0 (mm)
 Spessore dell'armatura (Sarm): 8,0 (mm)
 Modulo di elasticità dell'acciaio costituente l'armatura (Earm): 210 000 (N/mm²)
 Area dell'armatura (Aarm): 4650 (mm²)
 Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): 1,993E+07 (mm⁴)
 Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): 206 514 (mm³)
 Tipo di acciaio: Fe 510
 Tensione di snervamento dell'acciaio (fy): 355 (N/mm²)
 Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{amm}): 240 (N/mm²)

Malta di iniezione:

Res. compressione monoassiale malta di iniezione (σ_{malta}): 0 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 1,0 (MN/m²)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot D_{si} \cdot s_i \cdot l_{si}$$

Tipo di Terreno	Spessore (l _{si}) (m)	α (-)	D _{si} = $\alpha \cdot D$ (m)	s _i caratt. (MPa)	s _i calcolo (MPa)	Q _{si} (kN)
sabbie eghiaie	0,50	1,70	0,31	0,200	0,154	73,95
le e sabbie in matrice lim	0,50	1,50	0,27	0,250	0,192	81,56
basalto	29,00	1,10	0,20	0,400	0,308	5550,47

$$L_s = 30,00 \quad (m) \quad Ql = 5705,98 \quad (kN)$$

Capacità portante di punta

$$Qp = 0,15 \cdot Ql$$

$$Qp = 855,90 \quad (kN)$$

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Q_{lim} = Q_b + Ql$$

$$F_s = Q_{lim} / N \quad (F_s > 1)$$

$$Q_{lim} = 6561,87 \quad (kN)$$

$$F_s = 546,82$$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$):

$$0,19 \quad (N/mm^2)$$

$$P_k = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0,5}$$

$$\eta = P_k / N \quad (\eta > 10)$$

$$P_k = 1797,45 \quad (MN)$$

$$\eta = 149,79$$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):

(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

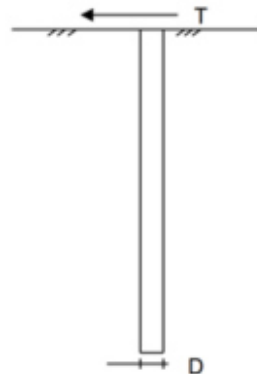
$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot I_{arm}}}$$

$$b = 0,322 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 24,59 \quad (kN \cdot m)$$



VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio Fe 510

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$$

$$\sigma_{max} = 121,68 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_{min} = -116,52 \quad (N/mm^2)$$

$$\tau = 6,81 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0,5}$$

$$\sigma_{id} = 122,25 \quad (N/mm^2)$$