



**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
COMUNE DI GUSPINI**

Provincia del Sud Sardegna (SU)



**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
AGROVOLTAICO AVANZATO DENOMINATO GUSPINI 5**

Loc. "Putzu Nieddu", Guspini (SU) - 09036, Sardegna, Italia

Potenza Nominale: Impianto FV 29'997,50 kWp

	<p>Committente - Sviluppo progetto FV:</p> <p>Apollo Solar 3 S.r.l. Viale della Stazione n. 7 - 39100 Bolzano (BZ) P.IVA 03187660216, PEC: apollosolar3srl@pecimprese.it</p>	<p>Gruppo di lavoro La SIA S.p.A.</p> <p>Riccardo Sacconi - Ingegnere Civile Antonio Dedoni - Ingegnere Idraulico Giulio Alberto Arca - Archeologo Simone Manconi - Geologo Francesco Paolo Pinchera - Biologo</p> <p>Progettazione Agronomica (La SIA S.p.A.)</p> <p>Agr. Stefano Atzeni - Agronomo Agr. Franco Milito - Agronomo Agr. Rita Bosi - Agronomo</p> <p>Progettazione Elettrica</p> <p>Ing. Silvio Matta – Ing. Elettrico</p>
	<p>Coordinamento Progettisti</p> <p>Innova Service S.r.l. Via Santa Margherita n. 4 - 09124 Cagliari (CA) P.IVA 03379940921, PEC: innovaserviceca@pec.it</p>	
	<p>Coordinamento gruppo di lavoro</p> <p>La SIA S.p.a. Viale Luigi Schiavonetti n. 286 – Roma (RM) P.IVA 08207411003, PEC: direzione.lasia@pec.it</p>	

Elaborato

RELAZIONE DI CALCOLO E PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURE DI FONDAZIONE

Codice elaborato REL_SP_STRUT			Scala -	Formato A4
REV.	DATA	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Febbraio 2024	Ing. Riccardo Sacconi	Innova Service S.r.l.	Apollo Solar 3 S.r.l.

Note

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	3
3. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO IN RELAZIONE AGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ED AI VINCOLI AMBIENTALI	3
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4.1 <i>Inquadramento geologico regionale</i>	5
4.2 <i>Inquadramento geologico locale</i>	8
4.2.1 <i>Stratigrafia</i>	14
5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE	16
6. CARATTERISTICHE PRINCIPALI	18
7. CALCOLO DELLE AZIONI.....	20
Calcolo pressione del vento.....	20
Calcolo azione del vento da applicare in Fondazione.....	22
Verifica della Fondazione su micropali in acciaio.....	23

1. PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto di realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato della potenza di picco di **29.997,50 kW** nel territorio del Comune di Guspini (SU), in località "**Putzu Nieddu**"; e delle relative opere di connessione, ricadenti anch'esse nel territorio del comune di Guspini.

2. 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"

3. 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.

Il nuovo impianto verrà installato all'interno di un'area privata meglio identificata al Foglio 126 del Comune di Guspini, Foglio 126 particelle 11-12-13-16-17-19-20-21-22-23-29-30-31-32-33-41-42-43-

44-45-53-57-58-70-78-84-86-98-109, per una superficie totale della proprietà di Ha 46,5858.

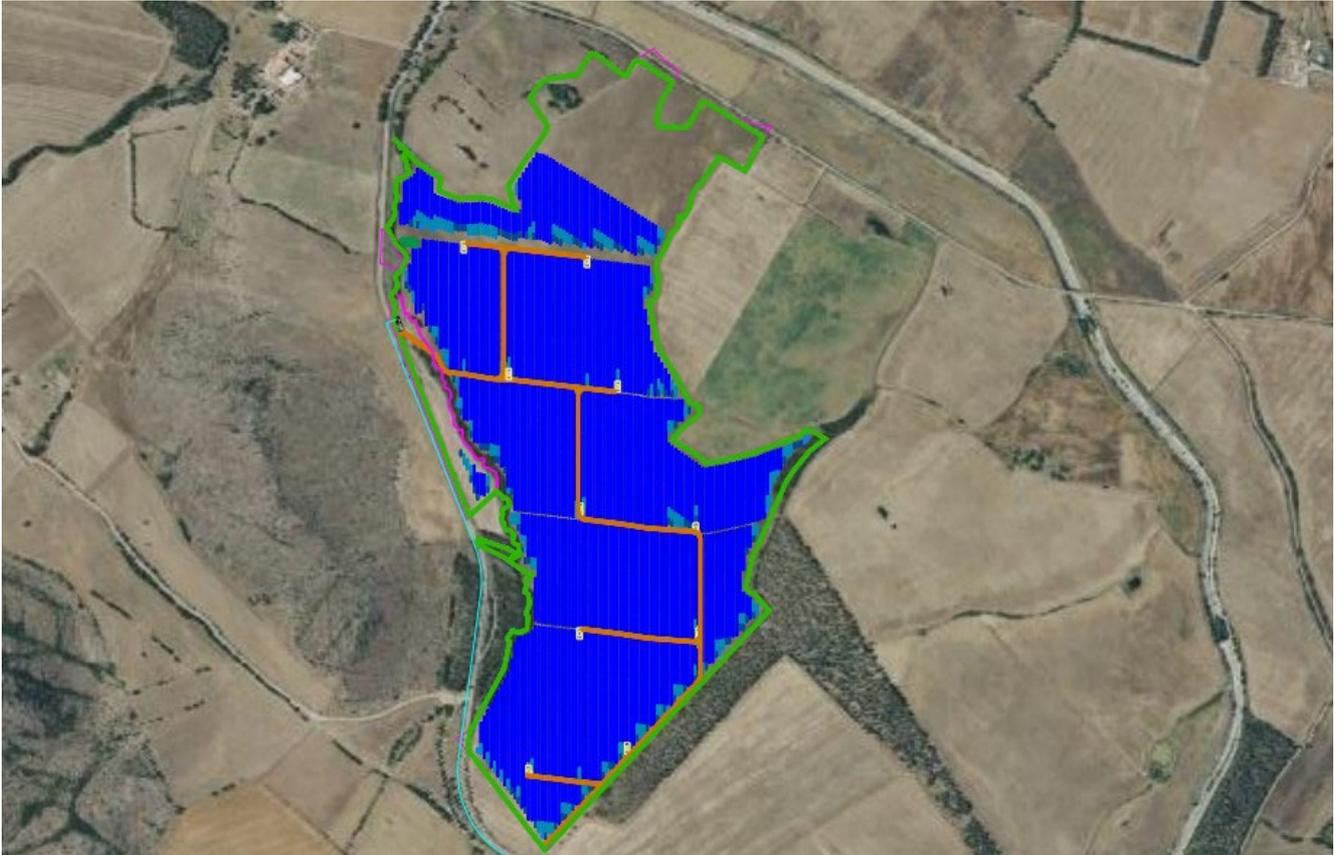


Fig. 1

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, con estensione di 46,5858 (465858 mq).

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.

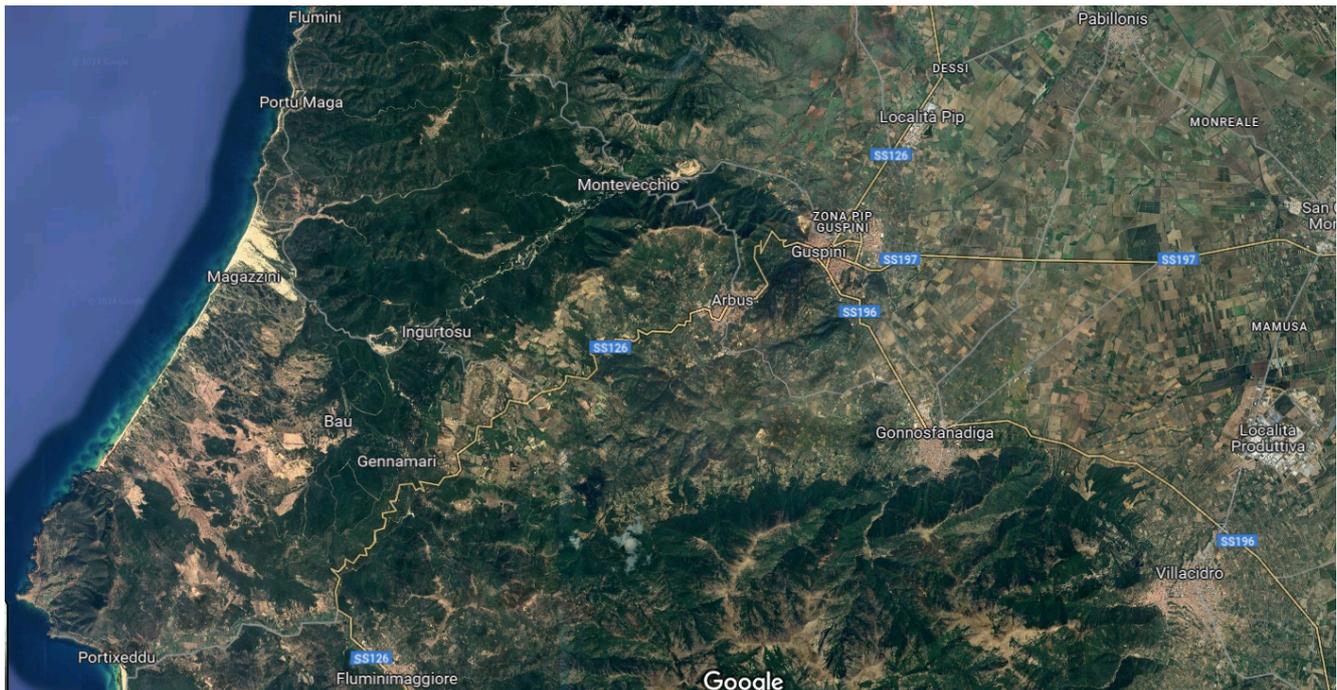


Fig.2

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

4.1 *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 granitoidi (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 calcicalcina 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).

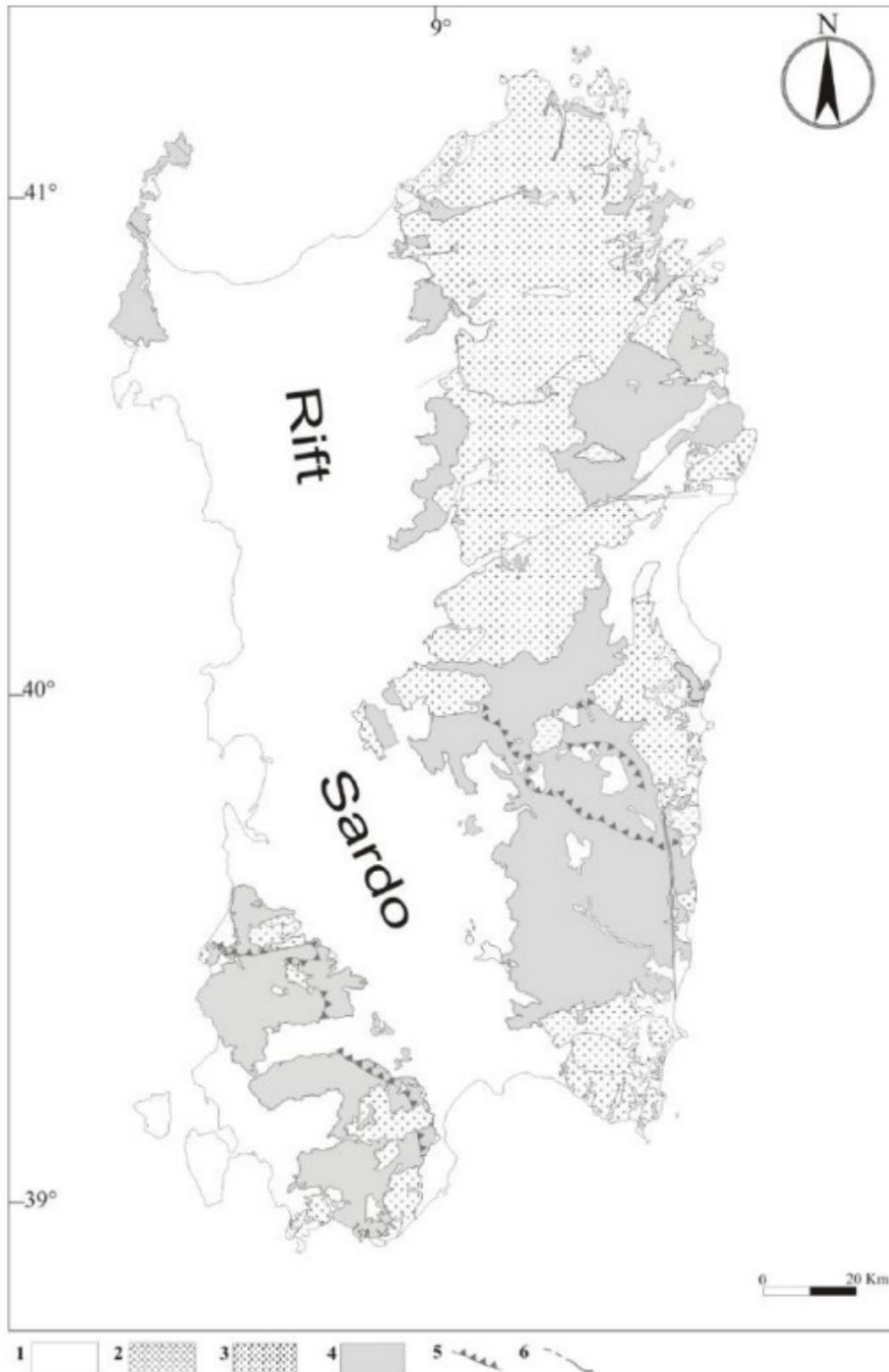


Fig.3

Fig.3: 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.

4.2 Inquadramento geologico locale

L'area d'intervento costituisce si inserisce all'interno di una zona caratterizzata dalla presenza di

una fitta rete di corsi d'acqua, in un contesto geologico e geomorfologico di tipo alluvionale, caratterizzato dalla prevalenza di litotipi incoerenti prevalentemente limoso-sabbiosi con interclusi ciottoli millimetrici, talora centimetrici e abbondante matrice argillosa riconducibili alle sequenze deposizionali terrazzate "Alluvioni antiche" del Quaternario.

In particolare, le litologie si presentano con tessitura di tipo sabbioso-ghiaiosa con presenza di scheletro costituito da ciottoli silico-clastici prevalentemente millimetrici e centimetrici, in matrice limo- argillosa da mediamente a molto compatta.

Queste litologie, di facies tipicamente alluvionale, sono riconducibili alle sequenze deposizionali del Pleistocene - Olocene che caratterizzano nel complesso tutta la zona.

La presenza di termini sabbioso – ghiaiosi con abbondanti ciottoli deriva dal fatto che in corrispondenza di questa specifica zona, i processi deposizionali sono avvenuti con tenori di energia fluviale piuttosto alti, collegati per lo più a condizioni di trasporto solido.

Questi terreni si presentano con interdigitazioni di altre litologie a tessitura diversa, corrispondenti alle condizioni di deflusso del reticolo minore, che in questa zona si presenta piuttosto variegato, con diversi elementi idrici che si intersecano tra di loro, a formare un vero e proprio reticolo di canali.

L'area d'intervento si distingue soprattutto per un notevole grado di addensamento di queste sequenze deposizionali, che complessivamente raggiungono spessori di qualche metro fino ad un massimo di circa 6.50 metri dopo di che si rileva la presenza del substrato lapideo.

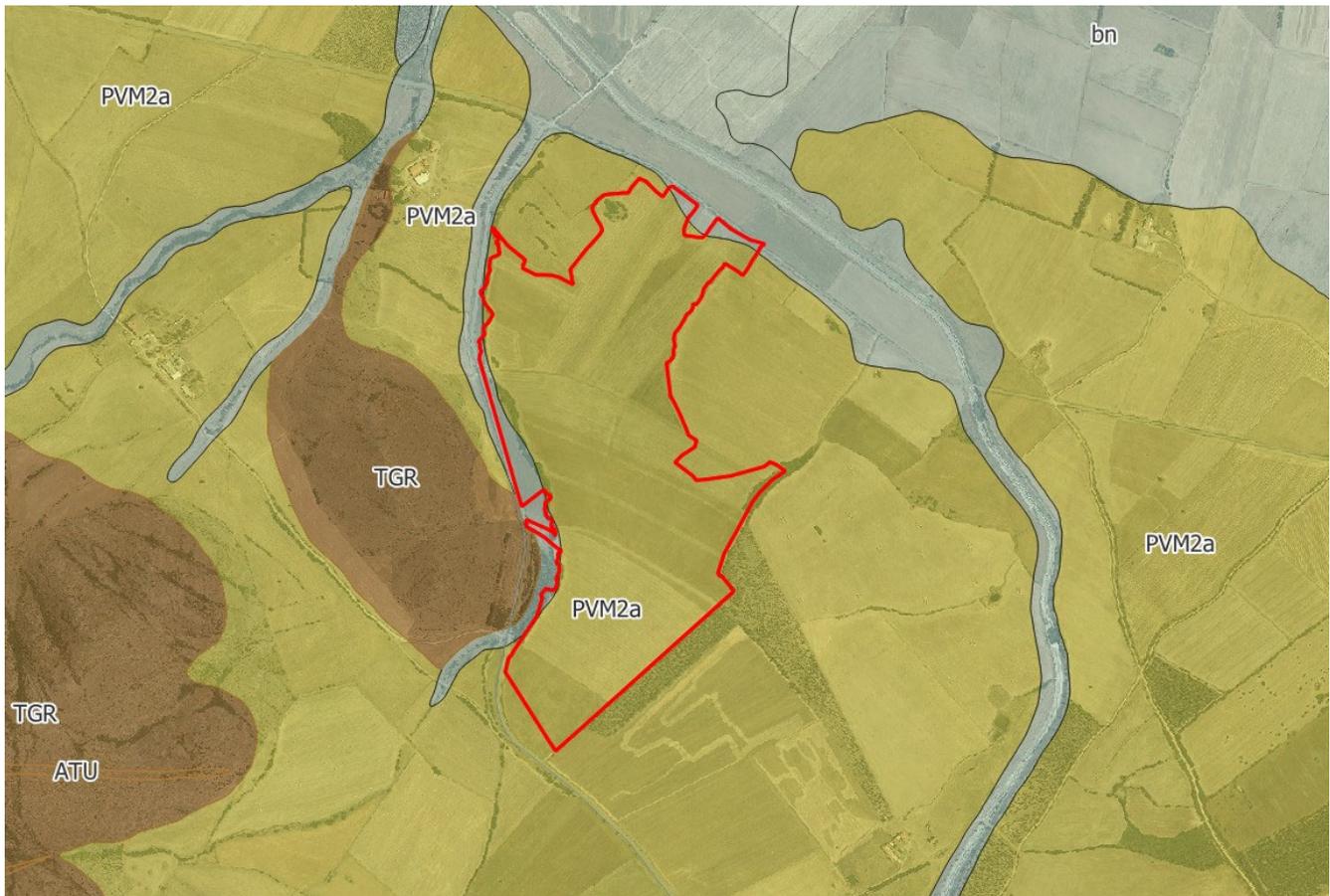


Fig.4

- Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche dell'area e in funzione dei dati rilevati in sito la successione litologica interessata dalle opere risulta essere così costituita dall'alto verso il basso: Sequenza deposizionale di depositi alluvionali recenti ed attuali con tendenza a pedogenesi superficiale, costituiti da depositi caotici di sabbie ghiaiose prevalenti in matrice argilloso – limosa, con interclusi ciottoli prevalentemente silico-clastici eterometrici più o meno abbondanti, moderatamente consistente (0.00 m – 1.70 m) (Olocene);
- Sequenza deposizionale di depositi alluvionali antichi, disposti negli orli dei terrazzi alluvionali e in corrispondenza delle conoidi alluvionali, costituiti da depositi caotici di sabbie ghiaiose prevalenti in matrice argilloso – limosa, con interclusi ciottoli prevalentemente silico-clastici eterometrici più o meno abbondanti, da mediamente a molto consistente (1.70 m – 6.30 m) (Pleistocene)
- Substrato roccioso di consistenza coesiva, compreso livello di alterazione superficiale riconducibile alle vulcaniti andesitico-basaltiche del distretto Vulcanico del Monte Arcuentu. Costituito da Basalti e andesiti con giaciture in cupole di ristagno ed in colate dell'Unità di Monte Togoro. (6.30 m – 30.00 m) (Miocene inferiore)

Per l'analisi degli aspetti stratigrafici si è fatto espresso riferimento alle indagini MASW e alle prove geotecniche eseguite all'interno dell'area di intervento a cui si rimanda nei rispettivi allegati.

Inoltre, per ulteriore verifica si è fatto riferimento anche ai dati ISPRA di cui alla L. 464/84 nella quale viene riportata la stratigrafia di un pozzo eseguito in corrispondenza dell'area d'intervento con la successione litologica riportata fino ad una profondità di 107 m dal p.d.c, dalla quale si evince che lo spessore complessivo della successione deposizionale alluvionale, in una zona più distante dagli affioramenti basaltici non supera i 19 metri di spessore complessivo.

Pertanto è lecito ritenere che nelle posizioni immediatamente adiacenti alle aree con vulcaniti sub-affioranti, lo spessore della sequenza deposizionale pleistocenica non superi i 7 metri di spessore complessivi.

Nel data base ISPRA, riportato in estratto, viene indicata la presenza di una falda acquifera, ubicata ad una profondità di circa 40.00 metri con una buona portata (1.5 l/s– 2.00 l/s) che comunque, potrà essere sfruttata per lo sviluppo delle colture previste.

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 186103 Regione: SARDEGNA Provincia: MEDIO CAMPIDANO Comune: GUSPINI Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 107,00 Quota pc slm (m): 48,00 Anno realizzazione: 1997 Numero diametri: 2 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 2,000 Portata esercizio (l/s): 1,500 Numero falde: 4 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 0 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 11 Longitudine WGS84 (dd): 8,582633 Latitudine WGS84 (dd): 39,652619 Longitudine WGS84 (dms): 8° 34' 57.49" E Latitudine WGS84 (dms): 39° 39' 09.43" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia	

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	87,50	87,50	287
2	87,50	107,00	19,50	225

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	41,00	43,00	2,00
2	56,00	61,00	5,00
3	84,00	85,00	1,00
4	95,00	97,00	2,00

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	14,00	14,00		ARGILLE E CIOTTOLI
2	14,00	19,00	5,00		ARGILLE COMPATTE
3	19,00	35,00	16,00		ARGILLE E CIOTTOLI ANDESITICI
4	35,00	51,00	16,00		ANDESITI ALTERATE
5	51,00	56,00	5,00		ANDESITI COMPATTE
6	56,00	61,00	5,00		ANDESITI ALTERATE
7	61,00	82,00	21,00		ANDESITI COMPATTE
8	82,00	85,00	3,00		ANDESITI ALTERATE
9	85,00	95,00	10,00		ANDESITI COMPATTE
10	95,00	97,00	2,00		ANDESITI ALTERATE
11	97,00	107,00	10,00		ANDESITI COMPATTE

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 "B" ovvero: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s."

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.

4.2.1 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):

- Coltre deposizionale alluvionale, mediamente pedogenizzata in superficie, costituita da sabbie

e limose in matrice argillosa, con tendenza a pedogenesi superficiale (0,00 ÷ 1,50 metri dal piano di campagna):

Peso di Volume naturale γ_n : 1890.0 Kg/m³

Peso di Volume saturo γ_s : 1930.0 Kg/m³

Angolo di Attrito Φ : 32.00°

Coesione C: 0,13 Kg/cm²

Modulo di compressibilità Elastica E_y : 170.00 Kg/cm²

Modulo di compressibilità Edometrica E_d : 90 Kg/cm²

- Sequenza deposizionale conglomeratica costituita da alternanze di sabbie, ghiaie ed argille,

riconducibili al Pleistocene (alluvioni antiche terrazzate) (1,50 ÷ 6.50 metri dal piano di campagna):

Peso di Volume naturale γ : 2140 Kg/m³

Peso di Volume saturo γ : 2420 Kg/m³

Angolo di Attrito Φ : 36.00°

Coesione C: 0,20 Kg/cm²

Modulo di compressibilità Elastica E_y : 225.00 Kg/cm²

Modulo di compressibilità Edometrica E_d : 120.00 Kg/cm²

I dati geotecnici di cui sopra corrispondono alle indagini eseguite in sito (a cui si rimanda) da cui emerge chiaramente che da una profondità di circa 150 cm circa dal p.d.c. (settore centrale) le

litologie presenti sono caratterizzate da materiali molto addensati che hanno portato al rifiuto strumentale per numero di colpi > 50 con punta conica di 5 cm^2 (adatta per terreni incoerenti prevalentemente ghiaiosi).

Sostanzialmente si conferma l'assetto lito-stratigrafico riportato in precedenza, correlato con le analisi sismiche.

Per la tipologia di materiale rilevato e per esperienze analoghe sulle stesse litologie, si ritiene che l'infissione a battipalo in questa tipologia di terreni sia da ritenersi efficace proprio per la presenza di

intercalazioni limo-argillose che ne consentono l'avanzamento. Si precisa tuttavia che in corrispondenza dell'area sud, i livelli conglomeratici risultano essere più superficiali, pertanto, limitatamente alla zona della prova penetrometrica DIN 1 si ritiene sia più congruo prevedere un preforo per la presenza di terreni maggiormente addensati con substrato roccioso andesitico sub- affiorante.



Fig.5

5. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

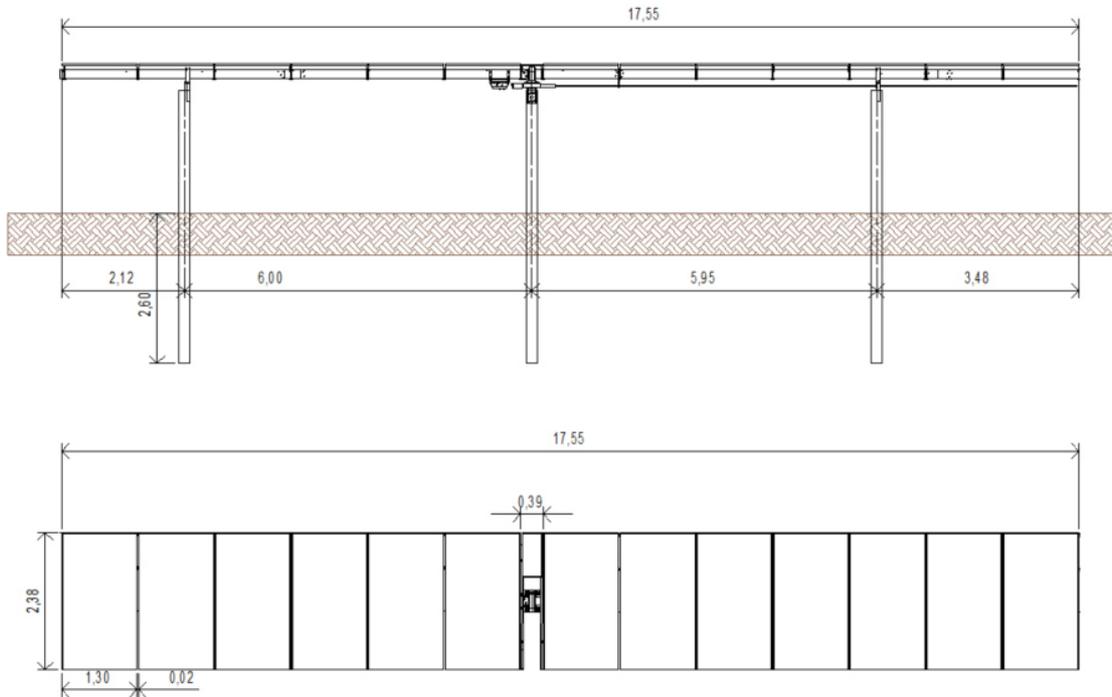


fig.7

La realizzazione dell'impianto sarà eseguita mediante l'installazione di moduli fotovoltaici a terra installati su sistema ad inseguimento monoassiale che raggiunge $\pm 60^\circ$ 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 rotolamento), 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 su 1/3 del numero

complessivo dei pali ed esattamente nell'area dove è stata realizzata la prova DIN1;

- 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 agrivoltaico (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, perché il beneficio associato all'annullamento dell'ombreggiamento è superiore alla mancata produzione dovuta al non perfetto allineamento dei moduli rispetto alla direzione dei raggi solari.

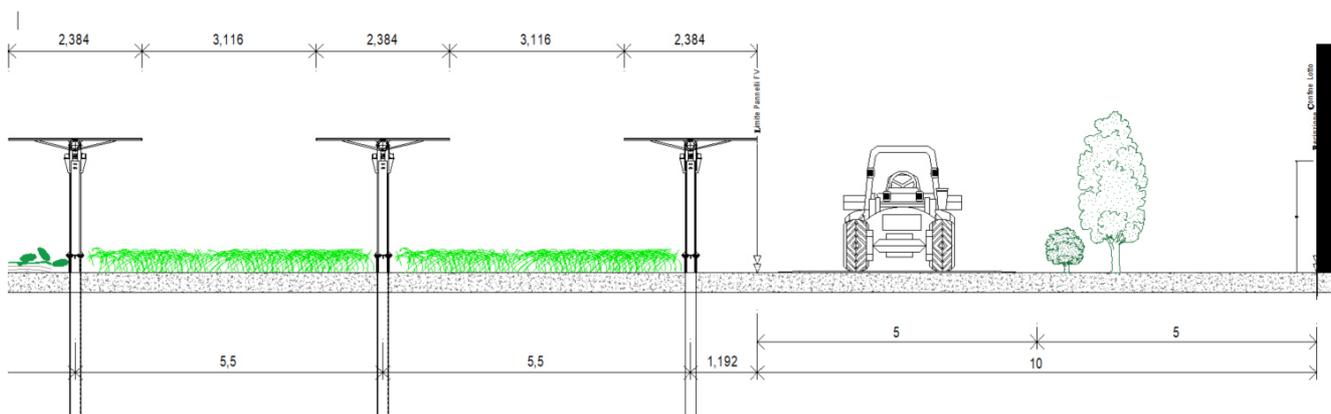


Fig.8 – Dettaglio trasversale struttura

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 ed attività agricole.

6. CARATTERISTICHE PRINCIPALI

La struttura del tracker TRJ è completamente adattabile in base alle dimensioni del pannello agrivoltaico, 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.

Tipologia di struttura utilizzata:	Tracker monoassiali ad asse N-S		
Struttura utilizzata:	pannelli FV posizionati su Tracker monoassiali ad asse N-S, con formazione 1P, azimuth=0°, Tilt= ±60°, distanza tra le carpenterie pari a 0.5 m, e distanza tra le file (Pitch) pari a 5.5 m.		
Struttura Grande	(1x26)	1 554	28 686 840
Struttura Media	(1x13)	142	1 310 660
Struttura C	(1x0)	0	0
Struttura D	(1x0)	0	0
Strutture Totali:		1 696	29 997 500

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) nell'area Sud in corrispondenza della prova penetrometrica DIN1 è necessaria la realizzazione del preforo per la presenza di terreni estremamente addensati che porterebbero l'infissione a rifiuto si 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, avranno le seguenti caratteristiche:

- numero complessivo 9750
- lunghezza 2.6m
- diametro 193mm
- spessore acciaio 8mm.

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.



Fig.9

7. CALCOLO DELLE AZIONI

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

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

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

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

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	GUSPINI
Provincia	SUD SARDEGNA
Regione	SARDEGNA
Latitudine	39,54000 N
Longitudine	8,62800 E
Altitudine s.l.m.	130,0 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);

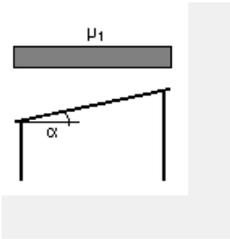
Zona	Esposizione	Ce	TR	as	qsk
III	Battuta dai venti	0,90	50 anni	130 m	60,00

Copertura ad una falda:

Angolo di inclinazione della falda $\alpha = 10,0^\circ$

$\mu_1 = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 43 \text{ daN/mq}$

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);

Vb,0: velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

a0: altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.I);

ks: 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;

Vb: velocità di riferimento calcolata come segue:

$$Vb = Vb,0 \text{ per } as \leq a0$$

$$Vb = Vb,0 (1 + ks ((as / a0) - 1)) \text{ per } a0 < as \leq 1500 \text{ m}$$

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

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

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
6	28 m/s	500 m	0,36	130 m	50 anni	28,00 m/s	1,000	28,00 m/s

Pressione cinetica di riferimento, $qr = \rho Vr^2 / 2 = 49 \text{ daN/mq}$

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

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

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0,20	0,10 m	5 m

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

Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

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	1,71	3,80 m

Pressione del vento

$$p = qr Ce Cp Cd = 84 \text{ daN/mq}$$

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:

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

$T_{max} = 42 - 2 \text{ as} / 1000$ (NTC 3.5.4)
dove as è l'altitudine di riferimento

Zona	as	T min	T max
II	130 m	-8,78 °C	41,74 °C

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	1512,00	3024,00

Verifica della Fondazione su micropali in acciaio

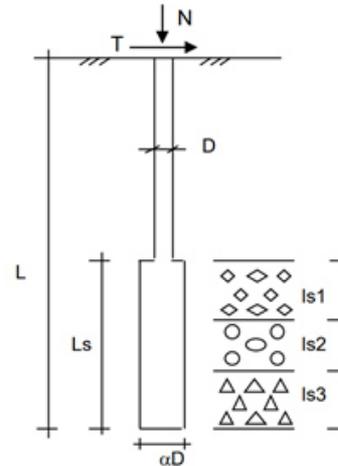
- **Micropali con tubolare in acciaio con infissione a secco su preforo**

OPERA: GUSPINI

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

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



coefficienti parziali	azioni		proprietà del terreno	
	permanenti	temporanee variabili γ_q	ξ	γ_s
Metodo di calcolo				
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

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/m³)

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)
DEPOSITI ALLUVIONALI	1,50	1,40	0,25	0,200	0,154	182,70
POSITI CONGLOMERATI	5,00	1,80	0,32	0,250	0,192	978,73
	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00

$$L_s = 6,50 \quad (m) \quad Ql = 1161,42 \quad (kN)$$

Capacità portante di punta

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

$$Q_p = 174,21 \quad (kN)$$

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

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

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

$$Q_{lim} = 1335,64 \quad (kN)$$

$$F_s = 111,30$$

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)

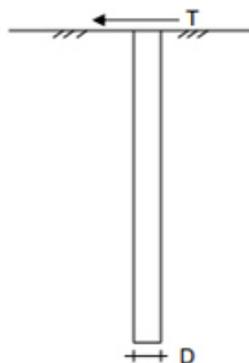
$$M = T / (2 \cdot b)$$

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

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

Momento Massimo (M):

$$M = 23,48 \quad (kN \cdot m)$$



VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio Fe 510

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$$\sigma_{max} = 116,26 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_{min} = -111,10 \quad (N/mm^2)$$

$$\tau = 6,50 \quad (N/mm^2)$$

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

$$\sigma_{td} = 116,81 \quad (N/mm^2)$$