

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Provincia del Sud Sardegna
COMUNE DI SILIQUA COMUNE DI VALLERMOSA



TITOLO
TITLE

VALUTAZIONI ED AUTORIZZAZIONI AMBIENTALI

PROGETTO DEFINITIVO

DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO DENOMINATO "NYX"
E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE

PROGETTAZIONE
ENGINEERING

Sviluppatore:

ENERGETICA  AGROLUX s.r.l.

Gruppo di progettazione:

Studio Ing. Valeria Medici

COMMITTENTE
CLIENT



OGGETTO
OBJECT

RELAZIONE GEOTECNICA

REL

RS04

DATA / DATE

MAGGIO 2024

AUTORE/CREATOR

M.S.

CONTROLLO/EDIT

V.M.

APPR

G.C.

REV

00

COMUNE DI SILIQUA
(Prov. del Sud Sardegna)

REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO
DA 37.764 KWP (33.125 KW IN IMMISSIONE) CON INSEGUITORI MONOASSIALI (TRACKER) -
COMUNE DI SILIQUA (SU)

RELAZIONE GEOTECNICA



Studio Tecnico Geologico
Servizi & Consulenze - Dott. Mario STRINNA

Sede legale : Viale Diaz, 48 - 09125 CAGLIARI - Tel.Fax 070.303083
Portatile +39 328.7906284 - E-mail studiostrinna@gmail.com - mariostrinna@libero.it
PEC mariostrinna@epec.epap.it - web: www.mariostrinna.com

Committente:

NYX s.r.l.
proprietà del gruppo Greencells

Oggetto:

RELAZIONE GEOTECNICA

Data:

06/2024

Scala:

Geologo [O.R.C. n. 441 - Sez. A]

Dott. Mario STRINNA

Collaboratore:



Aggiornamenti:

Tavola:

File: mario/geologia/2024/Impianto Agrivoltaico Siliqua SU

Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - **ORG** 441

Relazione geotecnica

COMUNE DI SILIQUA

(Prov. Sud Sardegna)

RELAZIONE GEOTECNICA

REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO
DA 37.764 KWP (33.125 KW IN IMMISSIONE) CON INSEGUITORI MONOASSIALI
(TRACKER) - COMUNE DI SILIQUA (SU)



COMMITTENTE

NYX s.r.l.

proprietà del gruppo Greencells



GEOLOGO [SEZ. A]

Dott. Mario STRINNA

La presente relazione non può essere né copiata né riprodotta, anche parzialmente, se non con il consenso del professionista incaricato, previa autorizzazione scritta. Eventuali mancanze saranno punite ai sensi di legge (Art.2578 C.C. - L.22.4.1941 N.6331)

This report can be neither copied nor reproduced, even partially, except with the consent of the professional person in charge, prior written permission. Any deficiencies will be punished according to the law (Art.2578 CC - L.22.4.1941 N.6331)



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK22B0201D32M5ALB

INDICE

RELAZIONE GEOTECNICA	pag. 3
A. PREMESSA	pag. 3
B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO	pag. 4
1. GEOLOGIA DI CONTESTO (settore di interesse)	pag. 8
a – Successione vulcano sedimentaria Terziaria	pag. 9
b - Complesso metamorfico ercinico	pag. 9
c - Depositi Quaternari Pleistocenici e Olocenici	pag. 10
1.1 - Considerazioni geotecniche di contesto	pag. 11
1.2 - Stima dei parametri geotecnici	pag. 13
1.3 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018	pag. 14
1.3.1 – Ipotesi A] fondazione su palo infisso (Tracker)	pag. 16
1.3.1.1 – Cedimenti	pag. 17
1.4 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta di fronti di scavo	pag. 19
2. CONCLUSIONI	pag. 21

Appendice

- Inquadramento Geologico sc 1:10.000	pag. 29
- Carta delle Permeabilità sc 1:10.000	pag. 30



RELAZIONE GEOTECNICA

Competenze professionali: la redazione relazione geotecnica come riportato all'art. 41, comma 1, lett. e), del citato D.P.R., dispone che formano oggetto dell'attività professionale degli iscritti nella sezione A dell'Albo dei geologi "le indagini e la relazione geotecnica". La competenza del geologo è stata inoltre riconosciuta dal Consiglio di Stato (V Sezione giurisdizionale) Decisione 4 maggio 1995, n°701 e dal Consiglio di Stato, IV Sezione n. 1473 del 12.03.2009. Le competenze degli ingegneri in materia di geotecnica sono circoscritte ai soli iscritti alla sezione A dell'Albo, settore "ingegneria civile ed ambientale", ai sensi dell'art. 46, comma 1, lett. a) [Parere del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Ufficio Legislativo prot. n. 1849/500 del 24.07.2002].

A. PREMESSA

Per lo studio dei terreni interessati dal progetto di un impianto Agrivoltaico avanzato da realizzarsi all'esterno del contesto urbano di Siliqua, in località Tanca di Berlingheri, percorrendo la SS 130 in direzione di Siliqua con svolta a destra in direzione di Vallermosa, successivamente SP89 tramite strade interpoderali ad essa connesse, è stato richiesto un accertamento geologico e geotecnico, con particolare riferimento alla caratterizzazione lito-stratigrafica e idrogeologica dei terreni che insistono nell'areale come substrato di appoggio delle fondazioni su palo infisso (Tracker) dove dovrà essere realizzato l'impianto, con particolare riferimento alla:

- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sedime di intervento sulla base di specifici studi geologici pregressi svolti sul territorio sensibile correlabile (*Geotest srl: ricerche idriche Siliqua, Comune di Vallermosa, Comune di Musei*), al fine di definire la sequenza dei terreni;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale;

Tale lavoro è stato eseguito in ottemperanza del D.M. 11.03.1988 (Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione). Le indagini in ottemperanza alle norme fissate dall'A.N.I.S.I.G. (Ass. Naz. Imprese Specializzate in Indagini Geognostiche). Testo integrato con la Circ. LL.PP. 24 Settembre 1988 n. 30483 (punto A3): istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 e n. 617 del 02.02.2009 – OPCM n. 3274 del 20.03.2003 - Nuove N.T.C. 2018 (§ 2.6 - 6.2.2; § 3.2 - 3.2.2 - § 7.11.3) sulle costruzioni e Circolare esplicativa 617/2009. Norme di Attuazione PAI della Sardegna: Artt. 24/25 (studi di compatibilità idraulica - geologica e geotecnica) - Testo Coordinato agg. 2022. Allegato E/F (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica, geologica e geotecnica di cui all'art. 24/25 delle NdA. del PAI), secondo le seguenti fasi:

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sedime di intervento sulla base di specifici studi geologici pregressi svolti sul territorio sensibile correlabile (*Geotest srl: Ricerche idriche Siliqua, Comune di Vallermosa, Comune di Musei*), al fine di definire la sequenza dei terreni;



- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale;
- Stesura di una relazione geotecnica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile correlabile, il tutto supportato da osservazioni dirette di tagli stradali ed evidenze litologiche in affioramento nel settore oggetto di analisi. Nello specifico si rilevano nel contesto esaminato: a) Distretto vulcanico di Siliqua – Piroclastici di Siliqua (SQA): depositi di flusso piroclastico, debolmente cementati, grossolanamente cementati, costituiti da clasti angolosi da metrici a centimetrici, di lava – Oligocene Miocene; b) Unità Tettonica dell'Arburese – Arenarie di San Vito (SVI): alternanze da decimetriche a metriche di metarenarie medio fini, metasiltiti laminate, micacee grigiastre, intercalazione di metaconglomerati poligenici; c) Depositi Pleistocenici dell'area continentale - Litofacies nel subsistema di Portoscuso (PVM2a): ghiaie alluvionali terrazzate con subordinate sabbie – Pleistocene sup; d) Sedimenti alluvionali (bna): depositi alluvionali terrazzati ghiaiosi con subordinate sabbie – Olocene; e) Sedimenti alluvionali (ba): depositi alluvionali ghiaiosi da grossolani a medi – Olocene; f) Sedimenti legati alla gravità (b2): coltri eluvio colluviali detritici immersi in matrice fine, talvolta con suoli più o meno evoluti.

B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio è situata all'esterno del Comune di Siliqua, più precisamente a NW dello stesso tessuto urbano. Morfologicamente trattasi di un territorio essenzialmente sub - pianeggiante,

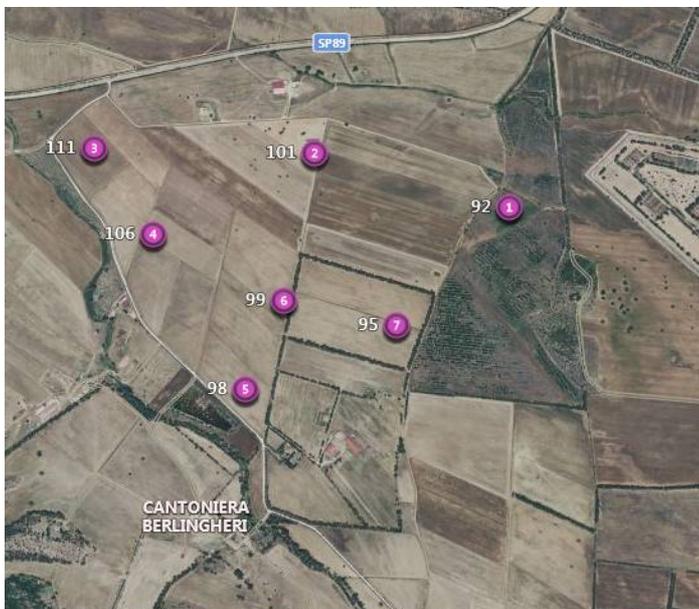


Figura 1 – Vista aerea - areale sensibile [fonte Geostru Maps]

debolmente ondulato, la cui quota s.l.m.m. è variabile da un minimo di circa +92m/95m ad un massimo di circa +100m/110m, debolmente degradante verso sud in direzione della SS130.

Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli Regionali:

- I.G.M. Foglio 556 Sez. IV° Quadrante (Vallermosa) alla scala 1:25.000;
- C.T.R. Foglio 556 – 060 (Siliqua) alla scala 1:10.000.

Coordinate km Gauss Boaga areale sensibile (Fuso 32):

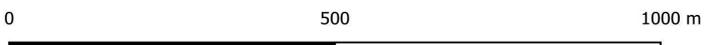
- **X** = 1480467.6560 longitudine **E**
- **Y** = 4353711.3980 latitudine **N**



INQUADRAMENTO AEREO
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 060 (SILIQUA)
SCALA 1:10.000



NYX AREA IMPIANTO
NYX_Impianto Siliqua.kml



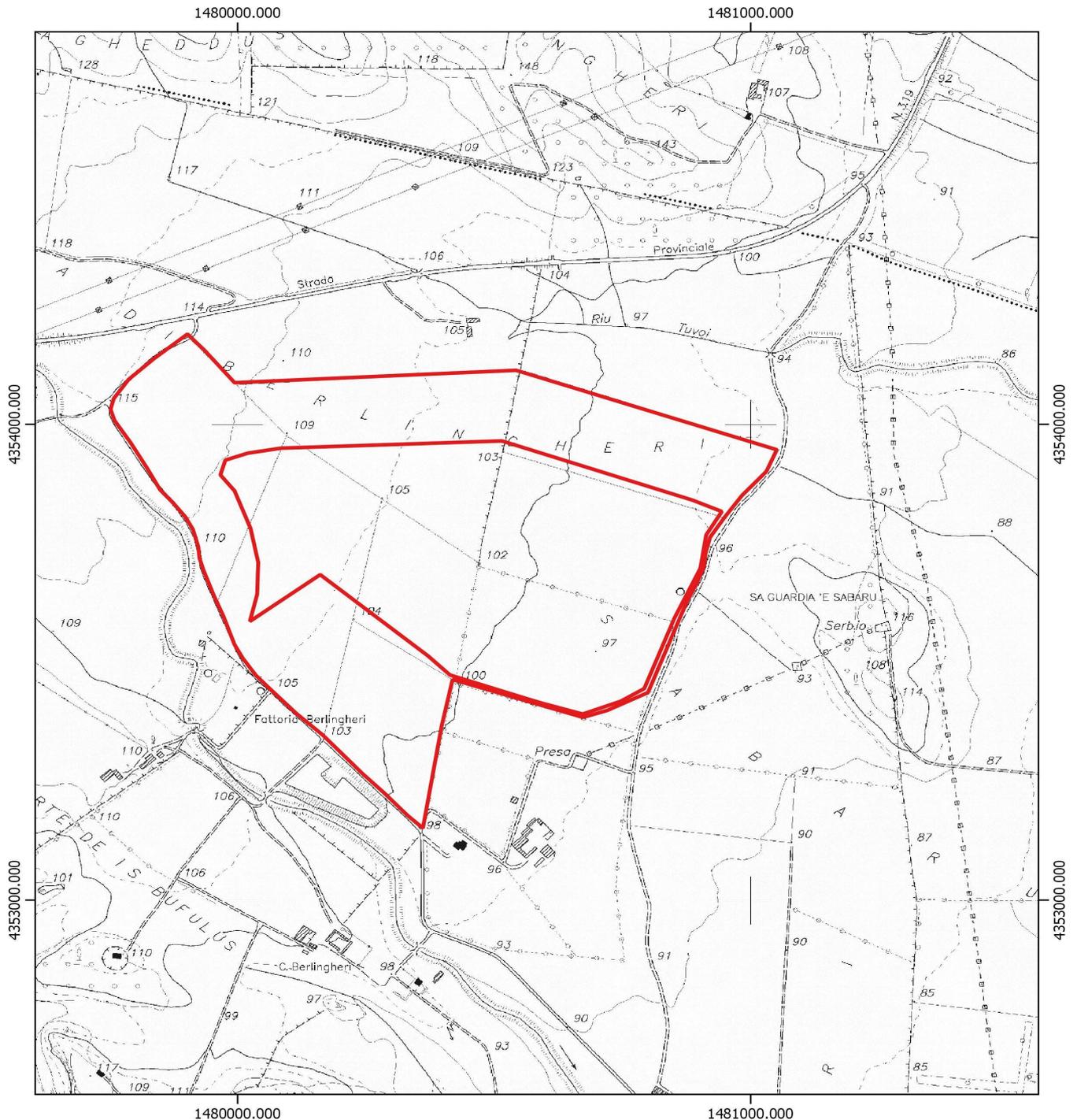
Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 060 (SILIQUA)
SCALA 1:10.000



NYX AREA IMPIANTO

 NYX_Impianto Siliqua.kml

0 500 1000 m



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK22B0201D32M5ALB

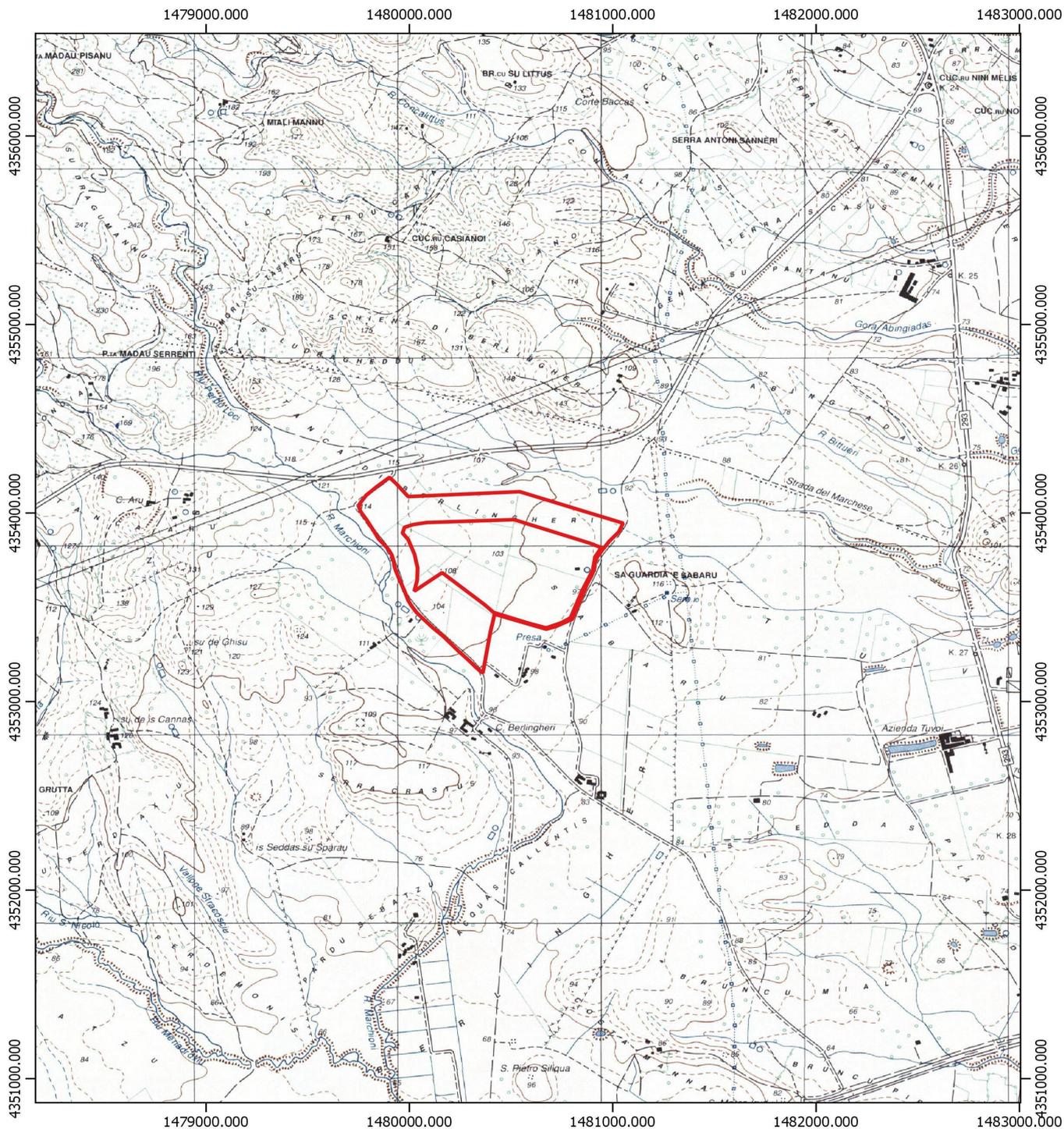
Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - ORG 441

Relazione geotecnica

INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE IGM FOLGIO 556 SEZ. IV° QUADRANTE (VALLERMOSA)
SCALA 1:25.000



NYX AREA IMPIANTO

 NYX_Impianto Siliqua.kml

0 500 1000 m



Viale Diaz n. 48 09125 Cagliari T/F 070.303083 Portatile +39 3287906284
Assicurazione professionale (LLOYD'S) geologi certificato n. GK22B0201D32M5ALB

1. GEOLOGIA DI CONTESTO (settore di interesse)

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto Agrivoltaico avanzato da 37.764 kWp (33.125 kW in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker), è sito nelle aree agricole dei comuni di Siliqua e di Vallermosa, Provincia del Sud Sardegna, con superficie catastale pari a circa 741.000 mq, mentre la superficie recintata dedicata alla protezione delle strutture fotovoltaiche avrà un'estensione pari a circa 350.000 mq, nella località Tanca di Berlingheri. Ricadiamo in un contesto morfologico-ambientale di piana alluvionale interna che si estende sino alle propaggini del massiccio montuoso del Sulcis-Iglesiente. L'ossatura geologica del territorio è caratterizzata da litologie piroclastiche di flusso debolmente cementate appartenenti alla successione sedimentaria vulcanica oligo-miocenica della "Zona delle Falde Esterne" e alla "Zona Esterna dell'Iglesiente-Sulcis", contornata da depositi quaternari sia Pleistocenici che Olocenici. Materiali piroclastici fanno da substrato a quasi la totalità dell'areale, anche se la presenza del sistema di Portovesme Pleistocenico ghiaioso sabbioso terrazzato, e alluvionale nel interrompe la continuità.

Questo settore, è riconducibile ad un sistema di conoide e di piana alluvionale, i cui rapporti laterali sono caratterizzati da interdigitazione. Si tratta di ghiaie a stratificazione incrociata, alternati a ghiaie a stratificazione piano-parallela per la migrazione di barre deposte da corsi d'acqua con aumentata sinuosità e con elevato carico solido. Localmente sono presenti livelli sabbiosi a stratificazione piano-parallela o incrociata concava e sottili livelli pedogenizzati di suoli poco sviluppati. Le caratteristiche

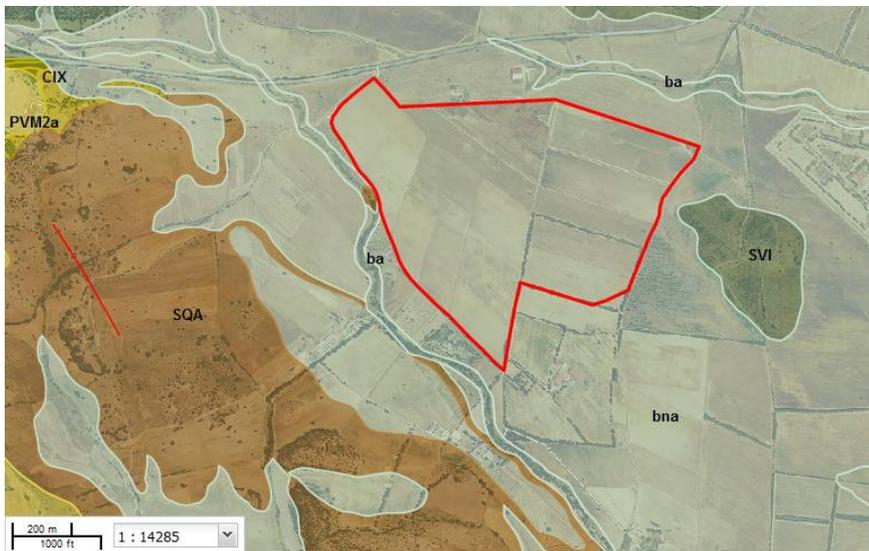


Figura 2 - Inquadramento geologico generale areale impianto - fonte Sardegna Geoportale

SQA - Successione vulcano sedimentaria Terziaria

SVI - Unità Tettonica dell'Arburese

PVM2a - Depositi quaternari Pleistocenici

bna - Depositi quaternari alluvionali terrazzati Olocenici

ba - Depositi quaternari alluvionali Olocenici

b2 - Depositi eluvio colluviali Olocenici

principali, dal punto di vista della geomorfologia dell'area sono date dai depositi alluvionali, che appartengono a due grandi cicli morfogenetici, il più antico riferibile al Pleistocene superiore ed il più recente all'Olocene. Dai versanti che delimitavano l'areale in grande, durante il Pleistocene superiore, si sono originate estese conoidi alluvionali coalescenti. La loro morfologia è caratterizzata da una più elevata acclività nei pressi del versante e da una progressiva diminuzione della

stessa nella parte distale fino a generare conoidi con profilo concavo. Sulla loro superficie le irregolarità topografiche dovute alla presenza di canali distributori sono state in genere livellate dai processi erosivi. Tutte queste conoidi sono state interessate da importanti processi di incisione che hanno condotto al loro terrazzamento. I processi erosivi sono stati particolarmente intensi nelle parti apicali, dove le scarpate raggiungono varie decine di metri di altezza. Questi processi hanno però interessato anche le parti distali che si presentano anch'esse terrazzate ed è probabile che spessori considerevoli siano preservati sepolti nel sottosuolo della pianura. L'erosione che ha interessato la parte apicale delle conoidi ha rimodellato anche i versanti. È verosimile che queste conoidi fossero alimentate da corsi d'acqua più importanti, interessati poi da fenomeni di cattura durante il Tardiglaciale. La paleovalle che alimentava la conoide più settentrionale passava ai piedi del M. Porceddu, dove è visibile una ampia sella. La conoide più meridionale era alimentata da una valle che passava a sud del M. Atziadei, dove sono ancora conservati estesi lembi terrazzati a quote elevate sul fondovalle. Le morfologie dei depositi di pianura legati alle dinamiche oloceniche sono state sovente cancellate dagli interventi antropici.

In sintesi: sono di seguito rappresentate le tipologie di terreni descritti in relazione geologica e che possono essere raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:

a – Successione vulcano sedimentaria Terziaria

Piroclastiti di Siliqua (SQA) Oligocene Miocene: affiorano nella nostra area e nel settore di Siliqua.

Piccoli affioramenti sono presenti lungo la S.S.130. Morfologicamente formano colline che si elevano di poche decine di metri sulla pianura circostante. Si tratta di alternanze di depositi di flusso piroclastico ed epiclastiti (arenarie vulcanoclastiche più o meno conglomeratiche). I depositi piroclastici formano unità deposizionali di flusso, spesse in alcuni casi 2-3 m, costituite da clasti da angolosi equidimensionali a subarrotondati di lava microvescicolata andesitica e rarissimi clasti di metamorfiti immersi in una matrice cineritica ricca di cristalli. I clasti hanno dimensioni variabili da pochi centimetri a 1 m. La porzione epiclastica è costituita da strati decimetrici di arenarie grossolane alternate ad arenarie fini. Esse sono costituite da granuli di quarzo e cristalli di plagioclasio, biotite e anfibolo. Spesso sono presenti clasti subarrotondati di lave andesitiche. L'unico affioramento che offra una sezione abbastanza chiara di una parte delle piroclastiti di Siliqua è esposto in prossimità della località Su Truncu de Is Tanas.

b - Complesso metamorfico ercinico in facies degli scisti verdi e anchimetamorfico - Successione pre-Ordoviciano medio delle Falde Esterne

Arenarie di S. Vito (SVI): potente successione terrigena, affiora estesamente in tutte le Falde esterne, dal Sarrabus al Sarcidano, dal Sulcis orientale all'Arburese e nel Goceano (Unità di Ozieri: OGGIANO, 1994). I metasedimenti rappresentano i termini più antichi affioranti. La base della successione non affiora, mentre il contatto con la sovrastante successione vulcano-sedimentaria ordoviciana è stratigrafico ed è quasi ovunque marcato da un caratteristico livello di metaconglomerati (Conglomerato

di Rio Ceraxa: BARCA & MAXIA, 1982). La successione è costituita da metarenarie micacee, quarziti e, più raramente, metarenarie feldspatiche e metagrovacche, di colore variabile dal grigioverdastro al grigio scuro. Queste metareniti formano regolari alternanze, da centimetriche a metriche, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e nere. Le quarziti grossolane grigio-chiare, massive e in spesse bancate, sono associate a metaconglomerati minuti, più raramente grossolani, in livelli di pochi metri di spessore ed in lenti, costituiti prevalentemente da clasti di quarzo e di originarie quarzo-areniti e arenarie.

c - Depositi Quaternari Pleistocenici e Olocenici

I depositi continentali del Quaternario costituiscono i corpi sedimentari di raccordo tra i rilievi montuosi e la fascia detritica alluvionale terrazzata di fondovalle in prossimità del Rio Cixerri, formando coltri di spessore variabile da pochi decimetri sino a diverse decine di metri. La loro genesi, trattandosi essenzialmente di facies alluvionali di conoide e di piana è ascrivibile ai cicli morfogenetici legati alle oscillazioni climatiche avvenute in particolare dall'ultimo periodo glaciale del Pleistocene superiore (Würm) all'Olocene. Il contatto con il sottostante substrato terziario è segnato da una coltre detritica di alterazione eluviale derivata dal disfacimento in sito del substrato piroclastico. I terreni della copertura Quaternaria, Pleistocenici e Olocenici, caratterizzano con grande continuità la zona pedemontana e la piana del Rio Cixerri. Le formazioni litostratigrafiche affioranti sono rappresentate da:

Subsistema di Portoscuso (PVM2a): Comprende depositi di facies alluvionale e detrito di versante. I sedimenti alluvionali pleistocenici derivano dall'appiattimento morfogenetico di conoidi alluvionali deposte dai corsi d'acqua allo sbocco delle valli, che hanno inciso le propaggini orientali dei rilievi del Sulcis. Molti autori hanno riconosciuto entro questi depositi la presenza di più ordini di terrazzi, legati all'evoluzione geomorfologica conseguente le variazioni climatiche del Pleistocene-Olocene, che hanno visto l'alternarsi di fasi d'intensa erosione e fasi di accumulo dei sedimenti (O.Seuffert, 1970). Si tratta di ghiaie alluvionali, poligeniche, con subordinate sabbie e ghiaie, più raramente da blocchi a spigoli subangolosi. Essi presentano strutture incrociate concave in genere piatte e di limitata ampiezza. Questi sedimenti, debolmente cementati o incoerenti, ma ben addensati, sono stati reincisi e terrazzati, permettendo il successivo deposito di sedimenti alluvionali recenti (olocenici) ed attuali che marcano il reticolo idrografico recente ed attuale delle fasce prospicienti la zona costiera. Alle pendici dei versanti, i terreni pleistocenici sono rappresentati da falde di detrito grossolane a litologia breccioide o da sabbie di arenizzazione granitica. Sono incoerenti, o dotati di una lieve diagenizzazione, costituiti essenzialmente dall'accumulo caotico di clasti eterometrici debolmente gradati, la cui composizione rispecchia i litotipi granitoidi dei rilievi al contorno. Si tratta di depositi che sono stati in larga parte erosi durante l'approfondimento delle valli post-glaciali e, per questo motivo, talora affiorano in aree limitate o sono presenti sotto le coperture oloceniche.

Deposito alluvionali terrazzati (bna nb): Le alluvioni recenti costituiscono lembi di piccole piane alluvionali intersecate dai corsi d'acqua attuali; si rinvengono ai lati degli alvei attivi o dei tratti d'alveo regimati e non interessati dalle dinamiche fluviali in atto nel letto ordinario, fatta eccezione per fenomeni alluvionali durante eventi idrometrici eccezionali. Si tratta di depositi alluvionali grossolani, a ciottoli poligenici, con limitate lenti e livelli di sabbie e ghiaie fini a stratificazione incrociata, sciolti o poco cementati ed in genere clasto-sostenuti con matrice sabbiosa. Queste alluvioni, più o meno terrazzate, sono ubicate poco al di sopra dei fondovalle attuali. Sono costituiti in genere da ghiaie grossolane con lenti e livelli di sabbie e di ghiaie fini (bna), a stratificazione incrociata concava e ghiaie massive a supporto di matrice, in prossimità dei versanti. La natura litologica dei clasti è rappresentata da metamorfiti paleozoiche e da rocce vulcano-sedimentarie terziarie. Talvolta i depositi alluvionali sono costituiti da sabbie medio-fini (bnb) di composizione quarzoso-feldspatica, a stratificazione incrociata concava (St).

Depositi dei letti fluviali attuali (ba): sono in genere grossolani (ghiaie prevalenti), con rare intercalazioni di lenti sabbiose, e caratterizzati da stratificazione a livelli piano-paralleli o incrociata concava molto piatta; sono legati ai corsi d'acqua attuali caratterizzati da regime torrentizio, con forti alternanze stagionali. In prossimità dei versanti montuosi, esterni, i sedimenti all'interno degli alvei possono essere anche molto grossolani e localmente sono presenti affioramenti di substrato consistente.

1.1 - Considerazioni geotecniche di contesto

L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il progetto ubicato in una zona sub pianeggiante – ondulata, la cui quota s.l.m.m. è variabile da un minimo di circa +92m/95m ad un massimo di circa +100m/110m, debolmente degradante verso sud in direzione della SS130, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato appartenente al distretto vulcanico di Siliqua, rappresentato da depositi di flusso piroclastico, debolmente saldati, stratificato, costituito da elementi clastici (SQA), in facies di stacco alla base microconglomeratico con il complesso metamorfico ercinico in facies degli scisti verdi e anchimetamorfico - Successione pre-Ordoviciano medio delle Falde Esterne (SVI). Allo stesso è associata la presenza di una copertura quaternaria a giacitura orizzontale e omogenea di materiale detritico alluvionale e/o alluvionale terrazzato e/o eluvio-colluviale, costituito essenzialmente da livelli ghiaiosi grossolani con subordinate sabbie (bna), conglomeratici nelle parti cementate, in matrice fine coesiva diversamente distribuita. Le opere previste in progetto non comporteranno scavi importanti per la posa delle fondazioni, né sbancamenti, né determineranno una modificazione nell'equilibrio morfologico dell'area d'intervento. Più precisamente le strutture verranno realizzate mediante infissione di un palo (tracker a pali infissi) del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta massimo a -2.0m da p.c..

Nel nostro contesto specifico, andrà ad interessare essenzialmente una diffusa copertura superficiale (bna) di materiale alluvionale terrazzato di spessore decisamente plurimetrico, per lo più incoerente in matrice coesiva, poggiate in profondità (non rilevabile) su litologie piroclastiche, granulose di materiale lavico. Nello specifico caso, ad esso si dovrà sempre tenere conto anche di un possibile interessamento delle strutture su materiali sempre di flusso piroclastico e/o arenaceo metasiltitico, presenti in affioramento o sub affioranti verso NNE/E, a cui si deve associare la possibile presenza, in entrambi i casi, di una debole copertura di suolo a frazione sabbiosa limosa argillosa.

Allo stato attuale, l'area di progetto inserita in un paesaggio morfologico sub pianeggiante, non è interessata da processi gravitativi, vista la modesta pendenza né da fenomeni di erosione idrica concentrata. Pertanto, i processi morfogenetici attivi si limitano a fenomeni di dilavamento diffuso lungo le aree di compenetrazione, durante i periodi intensamente piovosi, ed a localizzata sedimentazione eluvio-colluviale. Le uniformità locali di compattazione, la maggiore o minore presenza del legante (limo ed argilla), la presenza (%) o meno di elementi più grossi (sabbie grosse – ghiaie, sino a ciottolame), influenzano la condizione geotecnica generale propria di questi strati, dello spessore stimato decisamente superiore ai 5.0 metri da p.c., comunque variabile a seconda del tipo di sedimentazione considerata, come ad esempio nei depositi detritici eluvio colluviali gli spessori si attestano nell'ordine di qualche metro.

Nel nostro caso, ci si potrà attestare, con lo scavo per la realizzazione delle fondazioni su palo infisso (Tracker), sempre all'interno di una stessa litologia alluvionale terrazzata (bna) e/o Piroclastica (SQA) emergente (rara) in maggiore misura soprattutto se ci spostiamo verso il settore NNE/E dell'areale considerato, per la minima profondità di infissione, così descritta:

- Depositi alluvionali terrazzati Olocenici (bna): ghiaie con subordinate sabbie. Le alluvioni costituiscono lembi di piccole piane alluvionali intersecate dai corsi d'acqua attuali. Si tratta di depositi alluvionali grossolani, a ciottoli poligenici, con limitate lenti e livelli di sabbie e ghiaie fini a stratificazione incrociata, sciolti o poco cementati ed in genere clasto-sostenuti con matrice sabbiosa. Queste alluvioni, più o meno terrazzate, sono costituiti in genere da ghiaie grossolane con lenti e livelli di sabbie e di ghiaie fini (bna), a stratificazione incrociata concava e ghiaie massive a supporto di matrice, in prossimità dei versanti. La natura litologica dei clasti è rappresentata da metamorfiti paleozoiche e da rocce vulcano-sedimentarie terziarie. Talvolta i depositi alluvionali sono costituiti da sabbie medio-fini (bnb) di composizione quarzoso-feldspatica, a stratificazione incrociata concava (St).
- Depositi di flusso piroclastico (SQA): Si tratta di alternanze di depositi di flusso piroclastico ed epiclastiti (arenarie vulcanoclastiche più o meno conglomeratiche). I depositi piroclastici formano unità deposizionali di flusso, spesse in alcuni casi anche di 10m, costituite da clasti da angolosi

equidimensionali a subarrotondati di lava microvescicolata andesitica e rarissimi clasti di metamorfiti immersi in una matrice cineritica ricca di cristalli.

1.2 - Stima dei parametri geotecnici

Nota la costituzione geostrutturale del sito, per la determinazione specifica della portanza del terreno e del suo carico limite è stata ritenuta sufficiente la caratterizzazione puntuale dei materiali situati poco al di sotto del piano campagna su cui sarà intestato direttamente il palo (Tracker) a supporto dei pannelli previsti in progetto. Lo stesso graverà su di un terreno costituito da sabbie ghiaiose in matrice fine limosa argillosa con inclusioni eterometriche clastiche di lave andesitiche e/o di metarenarie micacee. Le caratteristiche geomeccaniche, utili alla determinazione del carico limite e della generale idoneità del terreno riguardo all'opera d'intervento, sono state ricavate da esperienze lavorative eseguite in aree limitrofe e litologicamente omogenee, supportato dall'osservazione diretta dei luoghi litologici su tagli stradali ed evidenze di substrato esposto di natura vulcanica (SQA) e/o metamorfico terrigeno (SVI). Le considerazioni che seguono hanno tenuto conto della correlazione esistente tra la formula di "Parry" e i valori rilevati dalle prove dinamiche discontinue N/SPT $\rightarrow R_{\text{terreno}} = 30N_{\text{spt}} / F_s$ coefficiente di sicurezza

I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste per la maggiore al piano di fondazione (Unità A) sono indicati nella tabella sottostante:

Unità A \rightarrow Depositi alluvionali terrazzati olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli sabbie e/o sabbie limo argillose, con inclusioni eterometriche clastiche di litologie antiche vulcaniche e/o metamorfiche terrigene.

Peso di volume naturale (γ_n)	18,50 KN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	19,10 KN/m ³
Angolo di attrito interno (φ)	28°
Coesione c_{nd}	19,61 ÷ 29,42 KN/m ²
Modulo Elastico (E)	23535,96 KN/m ² (Schmertmann)
Modulo Edometrico (M)	26870,22 KN/m ² (Menzebach e Malcev)
N/SPT N_{medio}	20
Resistenza terreno R_t	1,96 daN/cm ²
Winkler (Kg/cm ³) $Q = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$	5,12
Caratteristiche strato	da addensato a molto addensato

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 20 in quanto trattasi di depositi disomogenei per la stessa natura sedimentaria deposizionale

Unità B \rightarrow Complesso vulcanico di flusso piroclastico(SQA): arenarie vulcanoclastiche più o meno conglomeratiche, costituite da clasti da angolosi equidimensionali a subarrotondati di lava



microvescicolata andesitica e rarissimi clasti di metamorfiti immersi in una matrice cineritica ricca di cristalli.

Peso di volume naturale (γ_n)	21,0 ÷ 22,0 KN/M ³
Angolo di attrito interno (φ)	32° ÷ 34° (Japanese National Railway)
Coesione nd_{min}	100 ÷ 300 KN/m ²
Modulo Elastico (Me)	41413,48 KN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Modulo Edometrico (Md)	34499,79 KN/m ² (Menzebach e Malcev)
N/SPT	≥ 30
Resistenza terreno Rt	≥ 2.94 daN/cm ²
Winkler (Kg/cm ³) $\sigma = 0,5$ Kg/cm ²	7,69
Caratteristiche strato	da duro a cementato

1.3 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018

Premessa: Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C 2008) la verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (S.L.U) di resistenza, si ottiene con il “Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali” di sicurezza tramite la disequazione: $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto (risultante della combinazione delle azioni agenti sulle costruzioni), R_d è la resistenza di progetto del terreno, che equivale al carico limite calcolato con il metodo delle tensioni ammissibili (D.M.11/03/88) ridotto di un certo coefficiente parziale (γ_R). Il valore di progetto si ottiene con una combinazione delle azioni sulle costruzioni e di coefficienti parziali, che tiene conto del massimo carico d'esercizio trasmesso sulla fondazione, dato da $N = G + Q$, che è la somma dei carichi permanenti sfavorevoli (G) e dei carichi variabili sfavorevoli (Q). La combinazione delle azioni è funzione del tipo di calcolo, se finalizzato agli stati limite ultimi (SLU) o agli stati limite d'esercizio (SLE). Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) si possono adottare 2 metodi:

- Il primo metodo tiene conto di 2 combinazioni:

- **Strutturale (STR):** è lo stato limite di resistenza della struttura e riguarda gli elementi di fondazione e di sostegno del terreno; è definito dalla combinazione $A_1+M_1+R_1$;
- **Geotecnico (GEO):** è lo stato limite di resistenza del terreno, si utilizza per il dimensionamento geotecnico delle opere di fondazione e di sostegno che interagiscono con il terreno; è definito dalla combinazione $A_2+M_2+R_2$;

Il secondo metodo si basa su di una combinazione unica, che considera sia gli stati limite ultimi strutturali che geotecnici, definita da $A_1+M_1+R_3$.

Le combinazioni sono formate da gruppi di coefficienti parziali γ con:

- A = coefficienti parziali per le azioni, γ_F ;



- M = coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, γ_M (resistenza dei materiali);
- R = coefficienti parziali per le verifiche agli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali γ_R (resistenza globale del sistema)

Con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C 2018) le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure indicate al § 2.6. Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione: $E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$

dove $E_{inst,d}$ è il valore di progetto dell'azione instabilizzante, $E_{stb,d}$ è il valore di progetto dell'azione stabilizzante. La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori γ_F riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1. Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione: $E_d \leq R_d$ [§ 6.2.1] essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]. Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto γF_k , dei parametri geotecnici di progetto X_k/γ_M e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con $\gamma E = \gamma F$. In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

La verifica della stabilità globale deve essere effettuata secondo quanto previsto nel capitolo 6.8 secondo la combinazione 2 dell'approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali delle tabelle 6.2.1 e 6.2.11 per le azioni e i parametri geotecnici, e nella tabella 6.8.1 per le resistenze globali. Per la verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018 è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica $[A_1+M_1+R_3]$ in condizioni drenate (piano di infissione): la verifica è stata svolta per un palo (Tracker) del diametro di 20cm, con incastro di punta a massimo -2.0m da p.c..

1.3.1 – Ipotesi A] fondazione su palo infisso (Tracker)

DATI GENERALI

Normativa	NTC 2018
Diametro della fondazione (tracker)	0,20m
Profondità piano di posa	2,0 m

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.002
Effetto sismico secondo NTC:	Cascone Maugeri
Fattore di comportamento [q]	3
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0.194
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0.0004
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0.005

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.0127	2.5776	0.14
S.L.D.	35.0	0.014	2.5689	0.143
S.L.V.	332.0	0.0388	2.4973	2.2881
S.L.C.	682.0	0.0494	2.5289	0.3247

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.0191	0.2	0.0004	0.0002
S.L.D.	0.021	0.2	0.0004	0.0002
S.L.V.	0.0582	0.2	0.0012	0.0006
S.L.C.	0.0741	0.2	0.0015	0.0008

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessor e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturato [kN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesion e [kN/m ²]	Coesion e non drenata [kN/m ²]	Modulo Elastico [kN/m ²]	Modulo Edometrico [kN/m ²]	Poisson	Descrizione
0.4	17.65	18.63	26.0	0.0	0.0	7354.99	+0.0	0.3	Copertura frammista a suolo
8.0	18.5	19.1	28.0	9.81	19.61	23535.96	26870.22	0.3	Alluvioni bn

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo



Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - **ORG** 441

Relazione geotecnica

1	A1+M1+R3	98,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	SISMA	98,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	98,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	98,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità à portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	1,8	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE... A1+M1+R3

Autore: TERZAGHI (1955)

- Carico limite [Qult] 414.25 kN/m²
- Resistenza di progetto [Rd] 230.14 kN/m²
- Tensione [Ed] (ipotesi di verifica cedimenti 98,06 KN/m²)
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 16569.95 kN/m³

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	17.14
Fattore [Nc]	17.24
Fattore [Ng]	4.74
Fattore forma [Sc]	1.3
Fattore forma [Sg]	0.6
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	414.34 kN/m ²
Resistenza di progetto	180.15 kN/m ²

Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)

SISMA

Fattore [Nq]	7.14
Fattore [Nc]	17.24
Fattore [Ng]	4.74
Fattore forma [Sc]	1.3
Fattore forma [Sg]	0.6
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0.98
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0

Carico limite	414.25 kN/m ²
Resistenza di progetto	230.14 kN/m ²

1.3.1.1 – CEDIMENTI

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi



Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - **ORG 441**

Pressione normale di progetto 98,06kN/m² (ipotesi di verifica)
 Cedimento dopo T anni 15.0
 Distanza 0.08 m
 Angolo 82.08 °
 Cedimento totale 0.004 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m ²)	Dp (kN/m ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	5.2	95.86	0.187	Edometrico	0.0044	--	0.0044

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto 98,06 kN/m² (ipotesi di verifica)
 Tempo 15.0
 Profondità significativa Zi (m) 2.5
 Media dei valori di Nspt all'interno di Zi 20
 Fattore di forma fs 1
 Fattore strato compressibile fh 1
 Fattore tempo ft 1.44
 Indice di compressibilità 0.026
 Cedimento 1.352 mm

VERIFICA A LIQUEFAZIONE - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss

Svo: Pressione totale di confinamento; S'vo: Pressione efficace di confinamento; T: Tensione tangenziale ciclica; R: Resistenza terreno alla liquefazione; Fs: Coefficiente di sicurezza

Livello non liquefacibile

GRAFICI

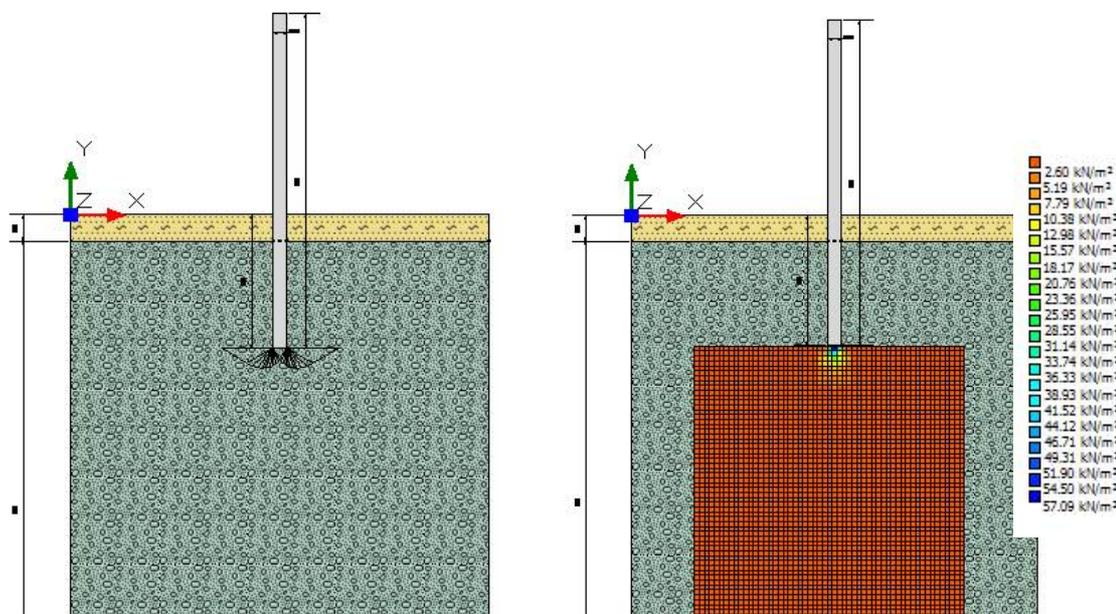


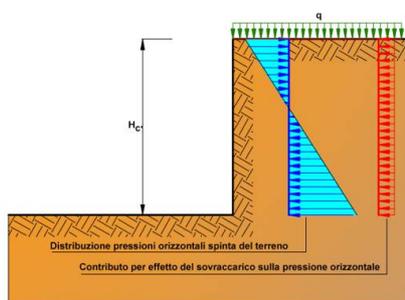
Fig. 3 - Cuneo di intrusione + bulbo sviluppo delle pressioni Boussinesq (ipotesi di verifica 98,06 KN/m²)



1.4 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo

L'area è costituita da sedimenti alluvionali terrazzati antichi e recenti, costituiti da ghiaie sabbiose in matrice fine con ciottolotti e/o livelli ciottolosi conglomeratici con ferrettizzazione della matrice.

In funzione di quanto sopra esposto, i terreni vista la minima profondità di escavazione saranno facilmente asportabili, se necessario in quanto il sistema è ad infissione, con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati da altre opere presenti in progetto (cabine, linee BT/MT, etc). Nota: in presenza di materiali consistenti sub affioranti e/o affioranti, coerenti, non escludere di utilizzare sondaggi corti a distruzione per l'intestamento del palo in acciaio sul terreno.



La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. E' infatti possibile dare allo scavo un'inclinazione (inclinazione di sicurezza) tale per cui essa risulti stabile nel breve periodo senza che vi sia pericolo di crollo. La stabilità nei livelli alluvionali terrazzati Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo in matrice fine coesiva, è legata, indipendentemente dall'altezza dello scavo al

valore dell'angolo di attrito interno del materiale.

Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come $FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$, dove φ = angolo di attrito interno del materiale e β = inclinazione della parete di scavo, per cui lo scavo può essere considerato stabile, in assenza di significative variazioni delle condizioni al contorno, per valori di FS maggiori o uguali a 1. Nel nostro caso, avendo le coperture Quaternarie Oloceniche un $\varphi = 28^\circ$, per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo β_{min} di circa 27° . Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un certo periodo di tempo senza bisogno di sostegni. Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici accorpabili per uniformità litologiche locali (riconducibili ad un unico livello A) $\rightarrow c_u = 19.61 \text{ KN/m}^2$ - $\gamma_n = 18.50 \text{ KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 \frac{c}{\gamma_n}$ si ottiene un'altezza critica di scavo $H_c = \sim 4.20 \text{ m}$. Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (Hc) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2$ $\rightarrow H_c' = \sim 2.10 \text{ m}$

Si consiglia, comunque, in presenza di materiali granulari in matrice coesiva, di eseguire l'apertura del terreno, in condizioni di sicurezza, con una maggiore larghezza della base e una minore pendenza della parete di scavo, per abbattere l'incidenza di eventuali crolli, a causa dei fenomeni di rilassamento per

Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - **ORG** 441

Relazione geotecnica

diminuzione della spinta litostatica delle terre, conseguente lo sbancamento. Generalmente, per profondità di scavo superiori a 1.0/1.5mt, trattandosi di materiali granulari non coerenti (D.lgs 81/2008), si consiglia di provvedere ad armare provvisoriamente i fronti di scavo. Da non dimenticare che, se si dovesse decidere di impiantare il cantiere durante il periodo invernale o comunque in previsione di eventi pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo dello scavo, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico al contatto tra l'alluvionale duro conglomeratico e il substrato resistente vulcanico/metamorfico.



3. CONCLUSIONI

In conformità a quanto fin qui esposto si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Gli interventi in progetto, sono ricompresi in un'area catastale pari a circa 741.000 mq, con superficie recintata dedicata alla protezione delle strutture fotovoltaiche pari a circa 350.000 mq, all'interno dei confini amministrativi del Comune di Siliqua. Litologicamente è interessato da terreni sedimentari quaternari a giacitura sub orizzontale e omogenea di materiale alluvionale terrazzato antico e recente (bna_nb) e/o detritico alluvionale (ba) e/o eluvio-colluviale, costituito essenzialmente da livelli ghiaiosi sabbiosi alluvionali terrazzati, a grana medio grossa, diversamente addensati e consistenti, intercalati a livelli limo-argillosi, per uno spessore stimato inferiore a circa 15/20m, conglomeratici nelle parti cementate, in matrice fine coesiva diversamente distribuita. Essi ricoprono i sedimenti ghiaiosi pleistocenici del Sistema di Portovesme (PVM2a) quando non affiorano. Sono riconducibili ad un sistema di conoide e di piana alluvionale, i cui rapporti laterali sono caratterizzati da interdigitazione. Si tratta di depositi alluvionali terrazzati Olocenici (bna), costituiti da sedimenti ghiaiosi sabbiosi, diversamente addensati e consistenti, intercalati a livelli limo-argillosi, per uno spessore stimato superiore ai 10m. Ad essi si contornano, per erosione antica delle superfici, a sedimenti paleogenici della formazione del Cixerri (CIX) oltre l'unità vulcanica piroclastica di Siliqua (SQA) e tettonica terrigena metarenacea delle Arenarie di San Vito (SVI), che rappresenta il substrato sub affiorante e/o affiorante in grande dell'areale soprattutto verso NNW/ENE. Le tipologie di terreni descritti in relazione sono stati raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:
- Complesso metamorfico ercinico in facies degli scisti verdi - Successione pre-Ordoviciano medio delle Falde Esterne - Arenarie di S. Vito (SVI): potente successione terrigena di metarenarie micacee, quarziti e, più raramente, metarenarie feldspatiche e metagrovacche, di colore variabile dal grigioverastro al grigio scuro. In regolari alternanze da centimetriche a metriche, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e nere. Le quarziti grossolane grigio-chiare, massive e in spesse bancate, sono associate a metaconglomerati minuti, più raramente grossolani, in livelli di pochi metri di spessore ed in lenti, costituiti prevalentemente da clasti di quarzo e di originarie quarzo-areniti e arenarie.
- Complesso vulcanico di flusso piroclastico (SQA): arenarie vulcanoclastiche più o meno conglomeratiche, costituite da clasti da angolosi equidimensionali a subarrotondati di lava microvescicolata andesitica e rarissimi clasti di metamorfiti immersi in una matrice cineritica ricca di cristalli;
- Depositi Pleistocenici dell'area continentale: litofacies nel subsistema di Portoscuso PVM2a → ghiaie alluvionali terrazzate con subordinate sabbie – Pleistocene sup;

- Successione sedimentaria paleogenica: Formazione del Cixerri CIX → argille siltose rossastre, arenarie quarzose feldspatiche, conglomerati eterometrici e poligenici – Terziario Eocene – Oligocene;
 - bna → depositi alluvionali terrazzati ghiaiosi con subordinate sabbie – Olocene;
 - ba → depositi alluvionali ghiaiosi da grossolani a medi – Olocene;
 - b2 → coltri detritiche eluvio colluviali immerse in matrice fine, talvolta con intercalazione di suoli più o meno evoluti – Olocene.
- Nell'area d'interesse non sono stati rilevati fenomeni franosi in atto né segni che ne lascino presagire l'occorrenza; non è stata riscontrata la presenza d'alcun elemento tettonico attivo, quali faglie o dislocazioni in genere, che possa favorire l'innescarsi di dissesti di qualsiasi natura e provocare ripercussioni sulla stabilità delle opere in progetto. Essa, inoltre, non è interessata da fenomeni di subsidenza, né sono stati rilevati altri fenomeni morfogenetici attivi in grado di influire in maniera significativa sulla stabilità dell'area. In considerazione delle caratteristiche tecniche dei terreni unitamente ai valori di pendenza su cui giacciono, l'area rimane caratterizzata da buone condizioni di stabilità.
- I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in:

Grado di permeabilità	Valore di k (m/s)
alto	superiore a 10^{-3}
medio	$10^{-3} - 10^{-5}$
basso	$10^{-5} - 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} - 10^{-9}$
impermeabile	minore di 10^{-9}

Classe 1 → medio-alta permeabilità (Quaternario olocenico)

Si tratta di terreni a buona circolazione idrica, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente alta in corrispondenza di livelli ciottoloso-sabbiosi in prossimità degli alvei dei corsi d'acqua, localmente media in corrispondenza dei materiali clastici a matrice fine (argille, limi), [$10^{-2} \geq K \geq 10^{-4}$]

Classe 2 → medio-bassa permeabilità (Alluvioni antiche Pleistoceniche - PVM2a)

Vi rientrano le alluvioni antiche di conoide alluvionale, terrazzate, costituite da livelli sabbioso-ciottolosi, conglomeratici, con intercalazioni limo-sabbioso-argillose, ben costipate e talora ferrettizzate. La permeabilità per porosità è generalmente bassa per la presenza di livelli da molto compatti sino a cementati, localmente media in corrispondenza dei livelli a maggiore componente sabbioso-arenacea [$10^{-4} \geq K \geq 10^{-7}$]

Classe 3 → bassa permeabilità (Piroclastici, Cixerri, Arenarie di San Vito)

Vi rientrano i materiali semicoerenti, duri e litoidi, complessivamente impermeabili per porosità, e grado di permeabilità per fessurazione secondaria da scarsa a bassa [$10^{-7} \geq K \geq 10^{-9}$]

□ Nell'area di progetto, la soggiacenza della falda superficiale si colloca raramente entro i -10.0m e l'andamento dei deflussi segue, in linea di massima la morfologia superficiale. La distribuzione dei pozzi per lo più impostati nelle coltri alluvionali quaternarie non è omogenea. Altre zone di alimentazione sono presumibili alla base dei versanti, lungo il contatto tra i sedimenti quaternari e le altre litologie a permeabilità medio-bassa più antiche. Dall'analisi delle perforazioni per acqua censite dall'ISPRA (<http://portalesgi.isprambiente.it/>), si rilevano nell'areale esaminato pozzi con falde sui depositi metarenacei a circa -40m/-60m per distanze inferiori ai 1000m e/o distante meno di 2Km in linea d'aria sulle alluvioni pleistoceniche antiche a - 27.0m e/o alluvionali a contatto con il substrato vulcanico non inferiori ai -20m.

□ Pericolosità Sismica Locale: la pericolosità sismica è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A - NTC), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag - accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_c^* - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori di ag, F_0 e T_c^* per gli "stati limite di esercizio", SLO e SLD, e per gli "stati limite ultimi", SLC e SLD, sono calcolati con interpolazione basata sulle distanze, per maglie di riferimento rappresentative dell'intera area nella quale dovrà essere realizzata la nuova struttura e utilizzando la Classe d'uso I (*Presenza occasionale di persone, edifici agricoli*).

Categorie di Sottosuolo: per identificare la categoria di sottosuolo (§ 3.2.2. NTC 2018) finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità



dal piano di posa della fondazione, dove per le fondazioni superficiali è riferita al piano di posa delle stesse: secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla classe C. *(Situazioni geologiche simili conducono solitamente a categoria di tipo C con profondità del substrato superiore ai 30m. L'analisi stratigrafica delle ricerche idriche ha confermato un alluvionale con profondità rilevante. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali).*

Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II - NTC 2018).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s</i>

Condizione Topografica: nel caso specifico la superficie interessata dall'opera in progetto rientra nella Categoria topografia T1 – (Tab. 3.2.III - §.3.2.2 NTC 2018 di seguito riportata) per la quale la normativa (§ 7.11.3.3 delle NTC 2008) prevede che “Gli effetti topografici possono essere trascurati” poiché presentano “un'inclinazione media inferiore a 15°”.

CATEGORIE TOPOGRAFICHE	
Categoria Caratteristiche della superficie topografica	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

	TIPI DI COSTRUZIONE	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	100

Dati sulla costruzione:

- Classe d'uso: I
- Vita Nominale: 50 anni
- Coefficiente d'uso: 0.700000
- Vita di riferimento: 35.000000 anni



Dati sull'area SENSIBILE:

- X = 1480467.6560 longitudine E
- Y = 4353711.3980 latitudine N

STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E)

- Dati sulla costruzione (SLO) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (SLO)
Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0127 g$ □ $F_o = 2.5776$ □ $T_{c^*} = 0.1400$ sec
- Dati sulla costruzione (SLD) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (SLD)
Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0140 g$ □ $F_o = 2.5689$ □ $T_{c^*} = 0.1430$ sec

STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U)

- Dati sulla costruzione (SLV) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV)
Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0388 g$ □ $F_o = 2.4973$ □ $T_{c^*} = 0.2881$ sec
 - Dati sulla costruzione (SLC) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (SLC)
Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati: $a_g = 0.0494 g$ □ $F_o = 2.5289$ □ $T_{c^*} = 0.3247$ sec
- Le caratteristiche geomeccaniche, utili alla determinazione del carico limite e della generale idoneità del terreno riguardo all'opera in progetto, sono state ricavate da esperienze lavorative pregresse eseguite in aree limitrofe, litologicamente omogenee correlabili, oltre da osservazioni dirette dei luoghi litologici su superfici esposte. Le considerazioni che seguono hanno tenuto conto della correlazione esistente tra la formula di "Parry" e i valori rilevati dalle prove dinamiche discontinue SPT → R terreno = $30N_{spt} / F_s$ coefficiente di sicurezza. I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante:

Unità A → Depositi alluvionali terrazzati olocenici ghiaiosi sabbiosi, con subordinati livelli sabbie e/o sabbie limo argillose, con inclusioni eterometriche clastiche di litologie antiche vulcaniche e/o metamorfiche terrigene.

Peso di volume naturale (γ_n)	18,50 KN/m ³
Peso di volume saturo (γ_w)	19,10 KN/m ³
Angolo di attrito interno (φ)	28°
Coesione c_{nd}	19,61 ÷ 29,42 KN/m ²
Modulo Elastico (E)	23535,96 KN/m ² (Schmertmann)
Modulo Edometrico (M)	26870,22 KN/m ² (Menzebach e Malcev)



Committente: NYX s.r.l.- proprietà del gruppo Greencells

Progetto: Impianto agrivoltaico da 37.764 kwp (33.125 kw in immissione) con inseguitori monoassiali (tracker) – Comune di Siliqua (SU)

Il Geologo: Dott. Mario STRINNA - **ORG** 441

Relazione geotecnica

N/SPT medio	20
Resistenza terreno Rt	1,96 daN/cm ²
Winkler (Kg/cm ³) $Q = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$	5,12
Caratteristiche strato	da addensato a molto addensato

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 20 in quanto trattasi di depositi disomogenei per la stessa natura sedimentaria deposizionale

substrato) Unità B → Complesso vulcanico di flusso piroclastico(SQA): arenarie vulcanoclastiche più o meno conglomeratiche, costituite da clasti da angolosi equidimensionali a subarrotondati di lava microvescicolata andesitica e rarissimi clasti di metamorfiti immersi in una matrice cineritica ricca di cristalli.

Peso di volume naturale (γ_n)	21,0 ÷ 22,0 KN/M ³
Angolo di attrito interno (φ)	32° ÷ 34° (Japanese National Railway)
Coesione $n_{d \min}$	100 ÷ 300 KN/m ²
Modulo Elastico (Me)	41413,48 KN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Modulo Edometrico (Md)	34499,79 KN/m ² (Menzebach e Malcev)
N/SPT	≥ 30
Resistenza terreno Rt	≥ 2.94 daN/cm ²
Winkler (Kg/cm ³) $\sigma = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$	7,69
Caratteristiche strato	da duro a cementato

□ Per la verifica della capacità portante secondo le N.T.C 2018 è stato scelto il secondo metodo con la combinazione unica [A₁+M₁+R₃] in condizioni drenate (piano di infissione): la verifica è stata svolta per un palo (Tracker) del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a massimo -2.0m da p.c.. Dai calcoli effettuati (utilizzando i valori minimi possibili di resistenza alla compressione e con i massimi coefficienti di sicurezza) si ottiene:

- Combinazione A1+M1+R3 - TERZAGHI (1955) – condizione drenata: Il valore minimo del carico limite ultimo $Q_{ult} = 414.25 \text{ kN/m}^2$, con una resistenza di progetto (Rd) = 230.14 KN/m², con una Tensione (Ed) ipotesi di verifica (cedimenti) pari a 98,06 KN/m²;
- I Cedimenti secondo Burland e Burbidge relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (1.352mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98,06 KN/m² (ipotesi di verifica);
- I Cedimenti per ogni strato (Wt) relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (0.004cm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98,06 KN/m² (ipotesi di verifica);



- I terreni presenti nell'area in oggetto non sono suscettibili al fenomeno di liquefazione in seguito a sollecitazioni dinamiche, in considerazione delle caratteristiche granulometriche, nonché dell'assenza di una vera e propria falda nei primi metri dal piano campagna - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss.
- L'area è costituita da sedimenti alluvionali terrazzati antichi e recenti, costituiti da ghiaie sabbiose in matrice fine con ciottolotti e/o livelli ciottolosi conglomeratici con ferrettizzazione della matrice. In funzione di quanto sopra esposto, i terreni vista la minima profondità di escavazione saranno facilmente asportabili, se necessario in quanto il sistema è ad infissione, con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati da altre opere presenti in progetto (cabine, linee BT/MT, etcc). Nota: in presenza di materiali consistenti sub affioranti e/o affioranti, coerenti, non escludere di utilizzare sondaggi corti a distruzione per l'intestamento del palo in acciaio sul terreno. La capacità della parete di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno interessato. La stabilità nei livelli alluvionali terrazzati Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo in matrice fine coesiva, è legata, indipendentemente dall'altezza dello scavo al valore dell'angolo di attrito interno del materiale. Il fattore di sicurezza (FS) di una parete di scavo viene definito come $FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$, dove φ = angolo di attrito interno del materiale e β = inclinazione della parete di scavo, per cui lo scavo può essere considerato stabile, in assenza di significative variazioni delle condizioni al contorno, per valori di FS maggiori o uguali a 1. Nel nostro caso, avendo le coperture Quaternarie Oloceniche un $\varphi = 28^\circ$, per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo β_{min} di circa 27° . Per questi terreni, si può verificare l'altezza critica di scavo, che è l'altezza massima alla quale una scarpata verticale è stabile per un certo periodo di tempo senza bisogno di sostegni. Nel nostro caso, considerando i seguenti parametri geotecnici accorpabili per uniformità litologiche locali (ricducibili ad un unico livello A) $\rightarrow c_u = 19.61 \text{ KN/m}^2$ - $\gamma_n = 18.50 \text{ KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 \frac{c_u}{\gamma_n}$ si ottiene un'altezza critica di scavo $H_c = \sim 4.20 \text{ m}$. Tenendo conto delle "tensioni di trazione" di altezza (y), che si generano in seguito allo scavo, ed in presenza di eventuale acqua a breve profondità legata alla stagionalità del periodo, il valore dell'altezza critica (Hc) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 2.10 \text{ m}$
Si consiglia, comunque, in presenza di materiali granulari in matrice coesiva, di eseguire l'apertura del terreno, in condizioni di sicurezza, con una maggiore larghezza della base e una minore pendenza della parete di scavo, per abbattere l'incidenza di eventuali crolli, a causa dei fenomeni di rilassamento per diminuzione della spinta litostatica delle terre, conseguente lo sbancamento. Generalmente, per profondità di scavo superiori a 1.0/1.5mt, trattandosi di materiali granulari non coerenti (D.lgs 81/2008), si consiglia di provvedere ad armare provvisoriamente i fronti di scavo. Da

non dimenticare che, se si dovesse decidere di impiantare il cantiere durante il periodo invernale o comunque in previsione di eventi pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo dello scavo, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico al contatto tra l'alluvionale duro conglomeratico e il substrato resistente vulcanico/metamorfico.

- L'area, che ospiterà l'opera in progetto, non evidenzia ostacoli di:
- Natura geologica, idrogeologica o morfologica che impediscano l'utilizzazione prevista dal progetto, a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche;
 - Turbamento alle caratteristiche morfologiche del paesaggio. La stratigrafia, tipica dei terreni locali analizzati in situ, evidenzia la compatibilità della stessa in funzione delle opere (interventi) da realizzarsi, a supporto del progetto di "Impianto Agrivoltaico da 37.764 KWp con inseguitori monoassiali (Tracker)".
 - Natura geotecnica che impedisca l'utilizzazione prevista dal progetto a meno delle normali prescrizioni ingegneristiche. Il progettista, verificata la compatibilità degli interventi previsti con la stessa natura del terreno, secondo le esigenze di progetto e di sue considerazioni di prudenza, potrà intervenire per avere l'opera finita a regola d'arte.

Cagliari lì Giugno 2024

GEOLOGO [sez. A]

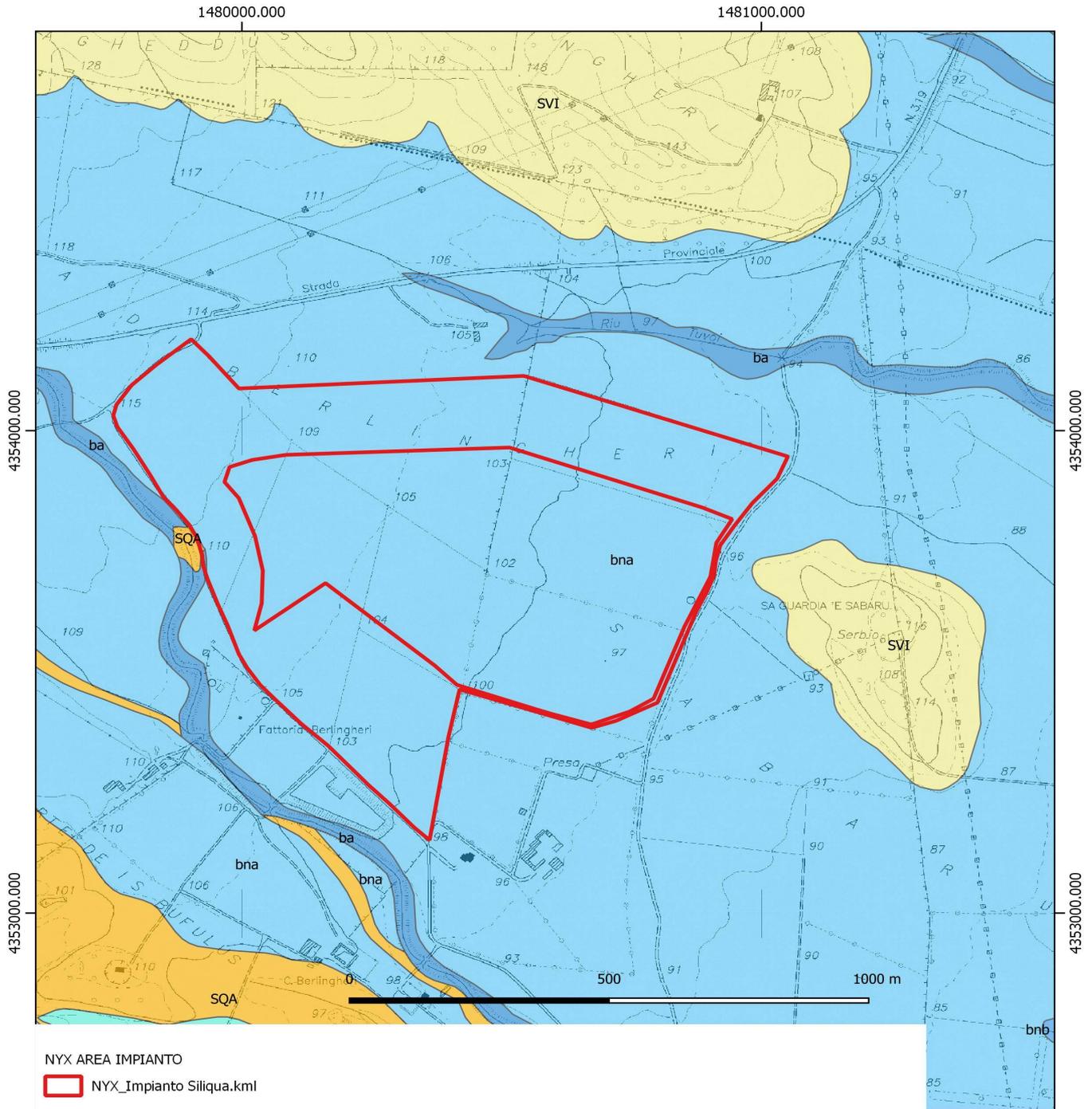
Dott. Mario STRINNA



La presente relazione non può essere né copiata né riprodotta, anche parzialmente, se non con il consenso del professionista incaricato, previa autorizzazione scritta. Eventuali mancanze saranno punite ai sensi di legge (Art.2578 C.C. - L.22.4.1941 N.6331)

This report can be neither copied nor reproduced, even partially, except with the consent of the professional person in charge, prior written permission. Any deficiencies will be punished according to the law (Art.2578 CC - L.22.4.1941 N.6331)

INQUADRAMENTO GEOLOGICO
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 060 (SILIQUA)
SCALA 1:10.000



NYX AREA IMPIANTO

 NYX_Impianto Siliqua.kml

geologiaAreali2008

-  ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze di metarenarie medio-fini, metasiltiti e metasiltiti micacee di colore grigio.
-  Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine. OLOCENE
-  Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE
-  Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
-  PIROCLASTITI DI SILIQUA. Depositi di flusso piroclastico, debolmente cementati, stratificati, costituiti da clasti angolosi, porfirica



CARTA DELLE PERMEABILITA'
SU BASE CTR FOGLIO 556 - 060 (SILIQUA)
SCALA 1:10.000

