



COMUNE SASSARI

(Prov. di Sassari)

**REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 7,59 MW
SU STRUTTURE FISSE SU PALI “TRUNCU REALE PV01”
COMUNE DI SASSARI (SS)**

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA



Committente:

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Data:

Scala:

Geologo [O.R.G. n. 441 – Sez. A]

Collaboratore:

Aggiornamenti:

Tavola:

File:

TRUNCU REALE – SS



COMUNE DI SASSARI

(Prov. di Sassari)

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

**REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 7,59 MW
SU STRUTTURE FISSE SU PALI “TRUNCU REALE PV01”
COMUNE DI SASSARI (SS)**

COMMITTENTE

GEOLOGO [SEZ. A]

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)

INDICE

RELAZIONE GEOLOGICA	pag. 3
A. PREMESSA	pag. 3
B. INQUADRAMENTO AEREO E GEOGRAFICO	pag. 4
C. BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	pag. 8
1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI	pag. 11
1.1 - Caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche del territorio	pag. 15
1.1.1 – Idrografia superficiale e caratteristiche idrogeologiche	pag. 17
1.1.2 - Permeabilità di contesto dell'areale sensibile	pag. 19
1.2 - Inquadramento climatico generale	pag. 20
1.2.1 - Parametri meteo climatici	pag. 21
1.3 – Assetto geologico dell'area di sedime	pag. 23
1.4 – Pericolosità geologica	pag. 24
1.4.1 - Pericolosità Idrogeologica	pag. 24
1.4.2 - Progetto P.S.F.F	pag. 25
1.4.3 - Progetto I.F.F.I	pag. 26
1.5.4 - Pericolosità sismica di base	pag. 26
1.4.4.1- Dati sismici sul sito (spettri di risposta)	pag. 32
RELAZIONE GEOTECNICA	pag. 34
2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE E STRATIGRAFICHE SUL SEDIME	pag. 34
2.1 - Verifica degli SL secondo le NTC 2018	pag. 37
2.1.1 – Cedimenti	pag. 41
2.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo	pag. 42
3. CONCLUSIONI	pag. 44
 Appendice	
- Inquadramento Geologico su base cartografica 1:10.000	pag. 53
- Carta delle permeabilità su base cartografica 1:10.000	pag. 54

RELAZIONE GEOLOGICA

Competenze professionali: la redazione relazione geologica (L. 9.07.1908, n. 445; D.P.R. 7.01.1956 n. 164; L. 25.11.1962, n. 1684; L. 2.02.1974 n. 64; D. LL. PP. 15.05.1985; D.M. LL. PP. del 12.12.1985; D.M. 11.3.1988; L. R. 7.06.1989, n. 30; D.M. 04.05.1990; D.P.R. 10.09.1990, n. 285; D.P.C.M. 29.09.1998; D.P.R. 6.06.2001, n. 380; D.Lgs 12.04.2006, n. 163 e ss. mm. ii.; D. Lgs 3.04.2006, n. 152; D.M. 14.01.2008; Ord. P.C.M. del 20.03.2003 n. 3274; PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE D. 21.10.2003; D. Ass. LL.PP. 21.02.005 n. 3 - Esecutività della Del. di G.R. n. 54/33 del 30.12.2004, Del. G.R.15/31 2004) è nella piena ed esclusiva competenza del geologo [Consiglio di Stato (V Sezione giurisdizionale) Decisione 4 maggio 1995, n°701]. Il divieto di subappalto della relazione geologica è sancito dalla Determinazione n. 3 del 27.02.2002 dell'Autorità per la Vigilanza sui Contratti Pubblici di Lavori, Servizi e Forniture. Sull'obbligatorietà dell'acquisizione della relazione geologica come elaborato di progetto (punto B.5. DM 11.3.1988 "I risultati delle indagini devono essere oggetto di apposite relazioni, parte integrante del progetto") si è espresso il Consiglio di Stato sezione VI con sentenza 5666/2009.

A. PREMESSA

Per lo studio dei terreni interessati dal progetto di un impianto fotovoltaico da realizzarsi a W di Ottava, lungo la SS131 Carlo Felice in direzione della SP 56 (Lp Truncu Reale), 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 dove dovrà essere realizzato l'impianto, con particolare riferimento alla:

- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sedime di intervento sulla base di stratigrafie ricavate da specifici studi geologici svolti sul territorio, su uno stesso contesto litologico, al fine di definire la sequenza dei terreni;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale;
- Definizione delle caratteristiche litotecniche attraverso la loro definizione, sulla base di documentazione disponibile, edita e inedita, documentabile dallo stesso scrivente sulla base di lavori pregressi svolti nel medesimo assetto territoriale, supportate da dati bibliografici e conoscenze dei luoghi.

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 sono state svolte 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 NTC 2018 sulle costruzioni (§ 2.6 - § 3.2. ÷ 3.2.2. - § 7.11.3.), secondo le seguenti fasi:

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e definizione delle caratteristiche litotecniche attraverso la loro definizione basata sulla base di documentazione disponibile, edita e inedita, documentabile dallo stesso scrivente sulla base di lavori pregressi (Impianto Truncu Reale vasca Coghinas 2, Sassari, Porto Torres) svolti nel medesimo assetto litologico territoriale;
- Problematica geotecnica connessa all'interazione opera-geologia locale.

B. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AEREO

L'area interessata dallo studio ricade nel territorio Comunale di Sassari, nella località Calarighes, lungo la SP 56. Dal punto di vista topografico, l'area in esame risulta inclusa nella cartografia catastale al foglio 18, particelle 268 del comune di Sassari, terreni localizzati nella ZONA AGRICOLA E. Morfologicamente trattasi di un'area sub pianeggiante di natura sedimentaria Oligo Miocenica del Logudoro Sassarese: Litofacies nella Formazione di Mores

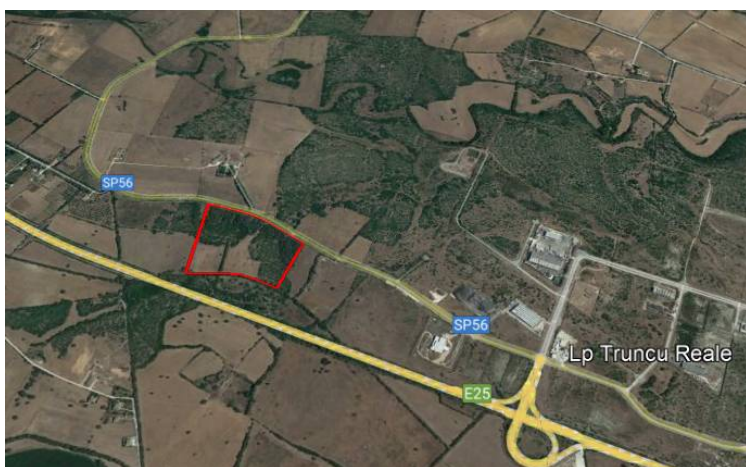


Figura 1 – Vista aerea zona impianto

(RESa) → Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi, calcari nodulari a componente terrigena. Ad essi si contrappongono verso nord in prossimità del fiume 85602 depositi alluvionali (bb) sabbiosi con subordinati limi e argille, e verso sud coltri eluvio colluviali (b2) detritici immersi in matrice fine. Le pendenze del territorio, variabili da circa 51.0m a circa 58.0m s.l.m.m. verso il fiume

85602, risultano (medie) inferiori al 10%. Corograficamente è inquadrabile nei seguenti Fogli Regionali:

- Foglio **I.G.M.** N. 547 Sez. IV° quadrante [LA CRUCCA] alla scala 1:25.000;
- Foglio **C.T.R.** N. 459-020 [OTTAVA] alla scala 1:10.000.

Coordinate Km areale sensibile:

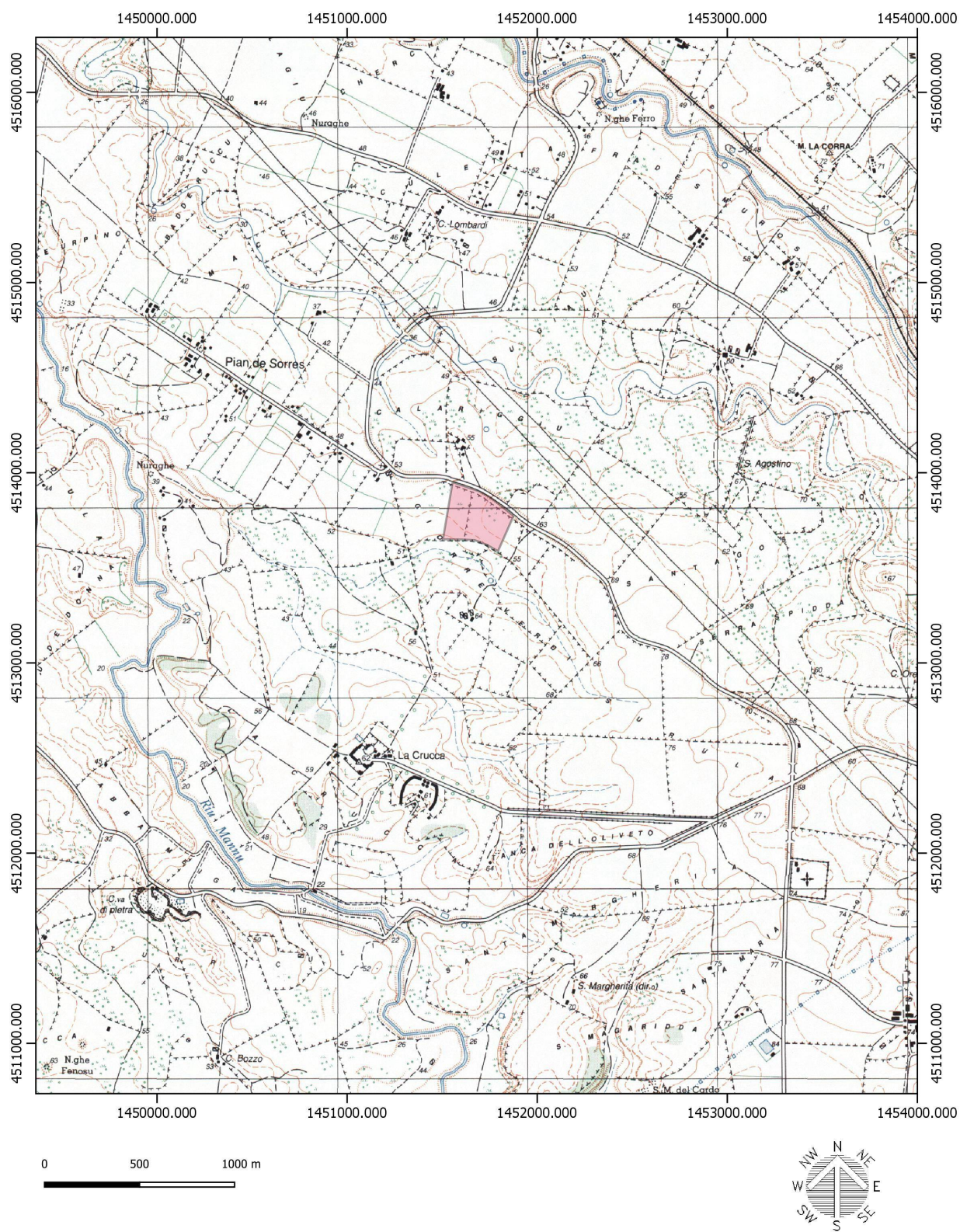
X = 1451575.3400 longitudine **E**

Y = 4513827.1430 latitudine **N**

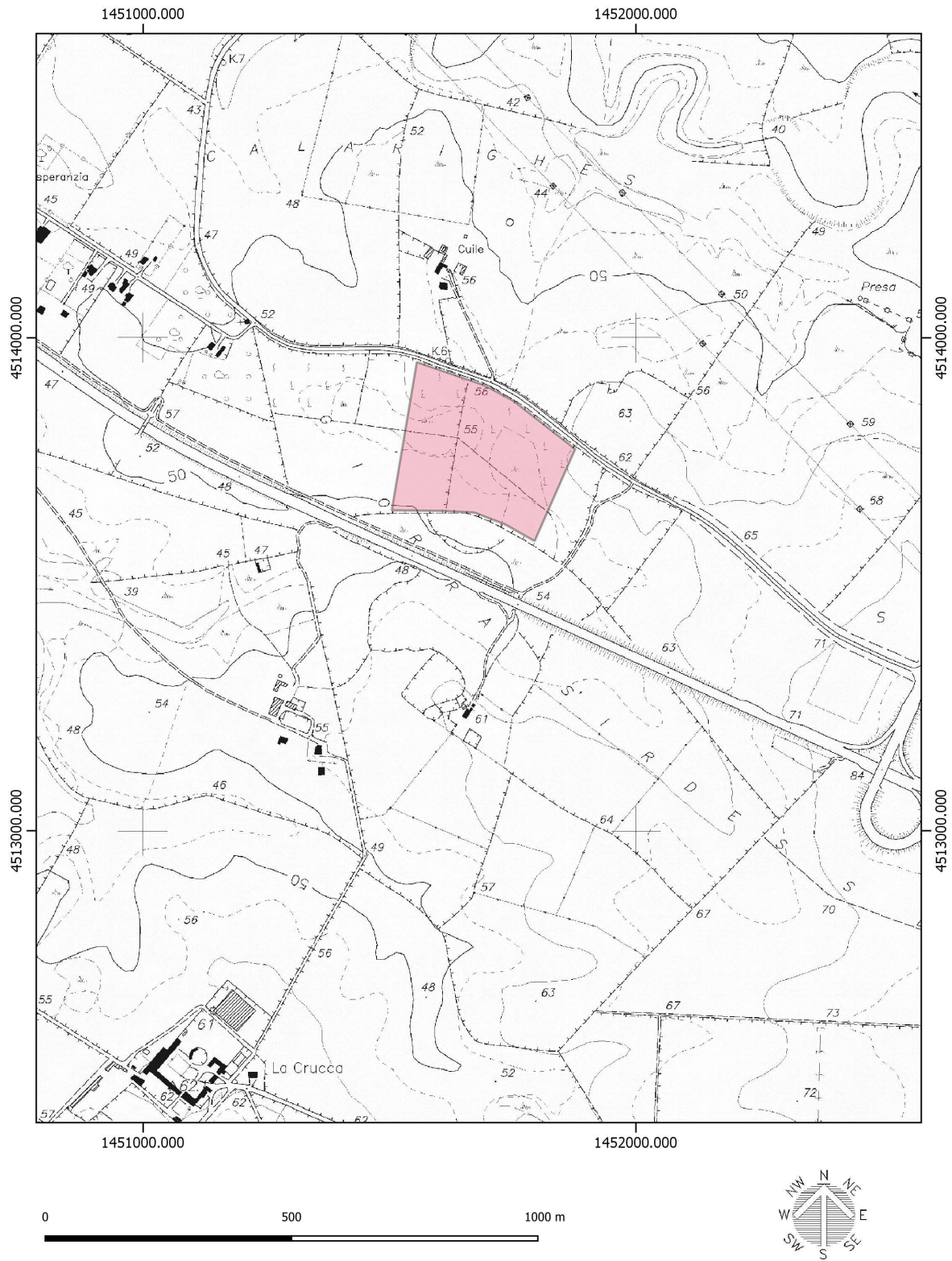
INQUADRAMENTO AEREO
SU BASE CTR FOGLIO 459 - 020 [OTTAVA]
SCALA 1:10.000



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE IGM FOGLIO 459 SEZ. IV QUADRANTE [LA CRUCCA]
SCALA 1:25.000



INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO REGIONALE
SU BASE CTR FOGLIO 459 - 020 [OTTAVA]
SCALA 1:10.000



C. BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La presente relazione fa parte del progetto esecutivo "REALIZZAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA DA 7,59 MW – SU STRUTTURE FISSE SU PALI "TRUNCU REALE PV01" – COMUNE DI SASSARI (SS)".

L'area di intervento è ubicata all'interno di terreni siti nel Comune di Sassari, il cui abitato è localizzato ad una altitudine di circa 225 m. s.l.m., con un territorio di 546,1 km² ed una popolazione di circa 121.817 abitanti. Dal punto di vista topografico, l'area in esame risulta inclusa nella cartografia catastale al foglio 18, particelle 268 del comune di Sassari, terreni localizzati nella ZONA AGRICOLA E secondo quanto documenta il Certificato di Destinazione Urbanistica (CDU).



Figura 2 – Area intervento con impianto fotovoltaico

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto, si trova ad un'altitudine media di 55 m s.l.m. e ricopre un'area lorda di 8,6 Ha. L'intervento contempla la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale in immissione pari a 7.590 kWp di picco per la produzione di energia elettrica posato sul terreno livellato mediante l'installazione di inseguitori solari.

L'impianto sarà costituito da 13.944 moduli fotovoltaici monocristallini da 545 Wp di tipo bifacciale, organizzati in stringhe e collegati in serie tramite 3 Power Station (TIPO 2) da 2000 kVA posizionate in maniera baricentrica rispetto alle strutture di supporto dei pannelli.

La tipologia e la configurazione delle strutture fotovoltaiche è caratterizzata da 249 tracker a pali infissi da 28x2 Portrait, disposti verso sud.

L'impianto verrà connesso in antenna tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata alla cabina primaria AT/MT Truncu Reale.

Di seguito la descrizione generale dell'installazione.

I moduli fotovoltaici costituenti l'impianto andranno posizionati a terra come individuato nell'elaborato Planimetria Generale Impianto. Il criterio di posizionamento si è basato sull'utilizzo di strutture fisse su pali, rivolte verso sud. Le strutture sono concepite per ottenere un irraggiamento massimo per più ore possibili. Nell'intorno del campo fotovoltaico vengono lasciati idonei spazi per effettuare le manutenzioni.



Figura 3 - Pannelli LONGI HI-MO5 LR5-72HBD da 545 W.

Nel presente progetto si utilizzeranno dei moduli fotovoltaici tipo LONGI HI-MO5 LR5-72HBD da 545 W, tra i più recenti disponibili in commercio, le cui caratteristiche di massima sono riportate nelle schede tecniche allegate. I moduli sono costituiti da 144 celle, incapsulate tra due strati di EVA e protetti frontalmente da una lastra di vetro temperato di 32.0 mm. La cornice di fissaggio è caratterizzata da robusti profilati di alluminio anodizzato di colore chiaro. Per le terminazioni elettriche è presente una scatola di collegamento a tenuta stagna, dotata di

connettori (collegabili a) MC4, cavo: 2 x 1 m / 4 mm². Il modulo presenta inoltre diodi di bypass. I moduli previsti avranno certificazione secondo la UNI 9177 di classe 1 di reazione al fuoco.

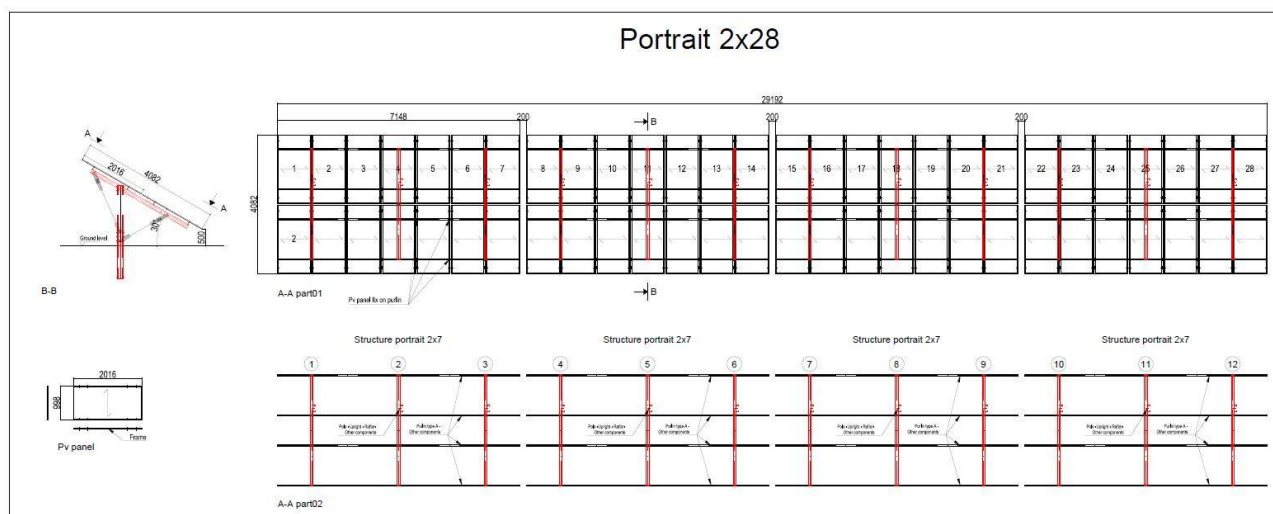


Figura 4 - Strutture fisse utilizzate

L'orientamento e l'inclinazione dei pannelli sono due dei principali fattori esterni da cui dipende il rendimento dell'impianto, che si aggiungono all'irraggiamento, alla temperatura esterna e alla pulizia dei pannelli; la presenza di polvere e sporcizia infatti può ridurre le prestazioni. Per i pannelli che vengono installati in Italia, l'angolo di inclinazione ottimale è tra i 30 e 35 gradi rispetto al terreno, con un'esposizione verso Sud.

Nell'impianto in progetto la struttura di fissaggio saranno infisse nel terreno tramite pali ed inclinate verso Sud con un'angolazione pari a 30°, come indicato nelle tavole grafiche.

Tra le file delle strutture ci sarà una distanza di 3.40 m per permettere il passaggio dei mezzi agricoli, mentre in direzione est/ovest il distacco tra i moduli sarà di 50 cm.

1. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SEDIMENTOLOGICHE GENERALI

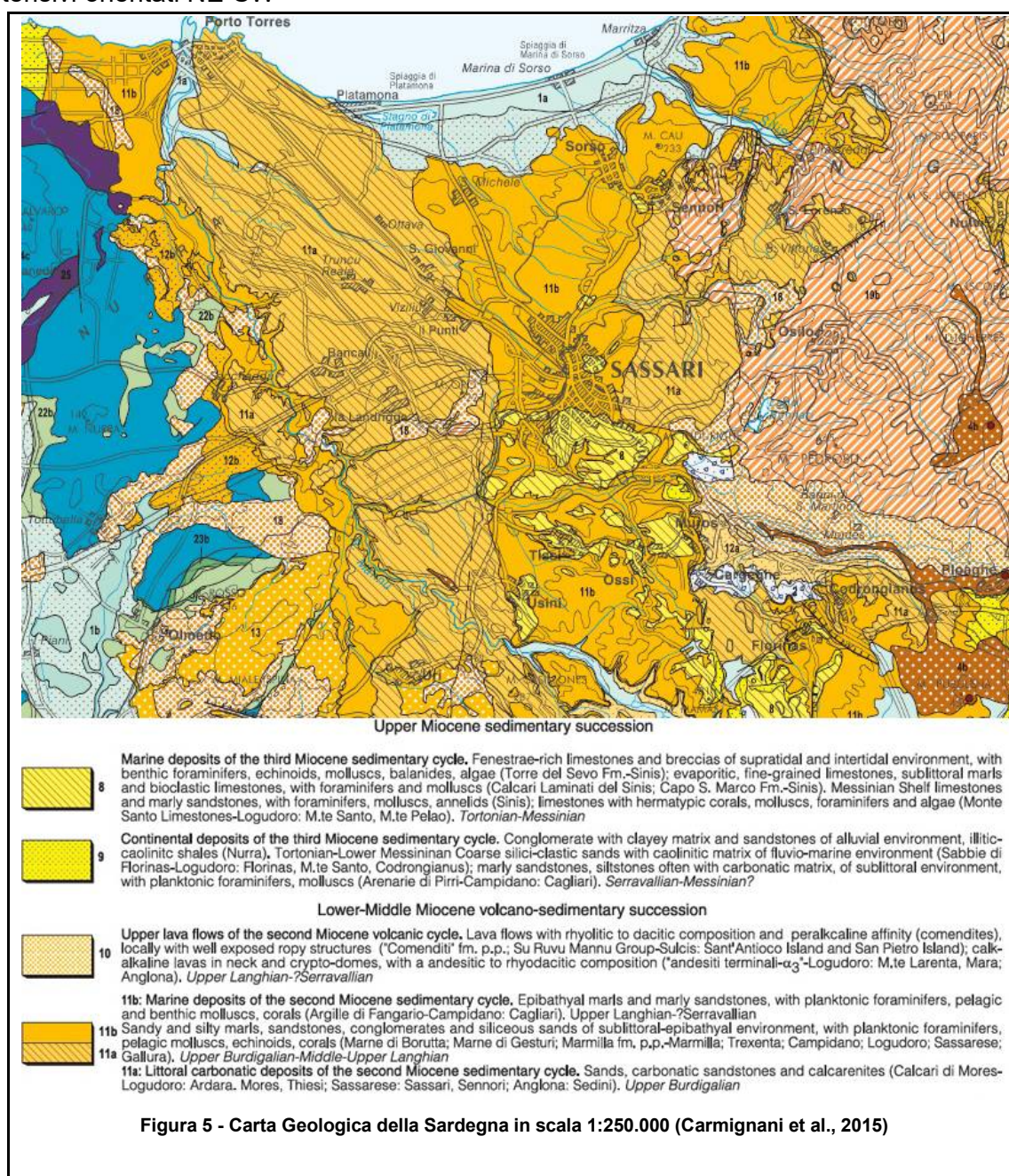
I lineamenti fisiografici del territorio di Sassari, nella Sardegna nord-occidentale, derivano essenzialmente dall'evoluzione tettonica Terziaria e Quaternaria della Sardegna. La strutturazione crostale dell'isola si è realizzata durante l'orogenesi Varisica, che ha interessato tutto il Basamento Sardo con intense deformazioni, un metamorfismo sincinemato e un importante magmatismo post-collisionale. Il basamento sardo è un segmento della catena varisica europea, separatosi dall'Europa solo nel Miocene inferiore (Burdigaliano). Le strutture fondamentali del basamento trovano la loro prosecuzione in Provenza e Catalogna (Alvarez, 1972; Arthaud & Matte, 1966; 1977; Cherchi & Montadert, 1982; Edel et al., 1981; Gattacceca et al., 2007; Matte, 2001) secondo la posizione pre-deriva Miocenica del blocco sardo-corso.

Circa un terzo dell'isola è coperto da sedimenti e vulcaniti del Carbonifero superiore-Permiano, del Mesozoico e del varisiche (Carmignani, Conti, Funedda et al; 2008). Terziario. Le formazioni più rappresentate sono di età miocenica; esse, infatti, affiorano con continuità da Golfo di Cagliari a quello di Sassari e rappresentano da sole oltre la metà degli affioramenti delle coperture post-erciniche. I maggiori spessori sono raggiunti nella "fossa sarda" (Vardabasso, 1962) o "rift sardo" (Cherchi & Montadert, 1982), in realtà costituiti da una serie di bacini sedimentari terziari (Oggiano et al., 2009) che interessano una fascia meridiana, più o meno continua tra il Golfo di Cagliari e quello di Sassari. Dopo la sua evoluzione varisica, la Sardegna, benché al di fuori della zona orogenica alpina, si è trovata ai margini di due aree caratterizzate da fenomeni orogenici importanti: i Pirenei e gli Appennini. Successivamente, essa è stata interessata, prima a ovest e poi a est, da due episodi di rifting ad evoluzione oceanica: l'apertura del Bacino Balearico nel Burdigaliano e l'apertura del Tirreno centro-meridionale nel Miocene superiore-Pliocene.

Lavori recenti (Carmignani et al., 1994a, Oggiano et al., 2009, Oggiano et al., 2011) hanno evidenziato come la Sardegna sia stata interessata dalla tettonica collisionale terziaria, con sviluppo di un sistema di faglie trascorrenti che inducono importanti transpressioni (Carmignani et al., 1992a; 1994a; 2004; Pasci, 1997), con sovrascorrimenti del basamento paleozoico sulla copertura post-varisica (M. Albo, M. Tuttavista, Supramonte), e transtensioni (bacini di Chilivani-Berchidda, Ottana), (Oggiano et al., 1995).

Nella successione oligo-miocenica sono intercalati prodotti vulcanici calcalcalini (ciclo vulcanico calcalcalino oligo-miocenico) riferibili alla subduzione nord-appenninica e alla relativa distensione post-collisionale (Beccaluva et al., 1994; Carmignani et al., 1994a; 1994c; 2001c; Lecca et al., 1997). Gli ultimi prodotti vulcanici riconosciuti nell'Isola sono rappresentati da basalti intraplacca connessi con l'apertura del Tirreno meridionale, attribuiti al ciclo vulcanico ad affinità alcalina, transizionale e subalcalina del Plio-Pleistocene.

La tettonica trascorrente di età oligo-aquitaniense rappresenta uno dei più importanti eventi deformativi della copertura post-varisica sarda da riferire alla collisione continentale terziaria tra la placca apula e il margine sud-europeo (Carmignani et al., 1992a; 1994a; Pasci, 1997; Pasci et al., 1998). In sintesi, la Sardegna settentrionale resta caratterizzata da una tettonica trascorrente sinistra (Oggiano et al., 1995), in cui si sono sviluppati limitati bacini transtensivi orientati NE-SW



(bacino di Chilivani-Berchidda, Ottana, ecc.) e importanti strutture transpressive. A questi bacini e alle faglie che li strutturano, sembrano essere correlate le effusioni vulcaniche oligo-aquitaniense.

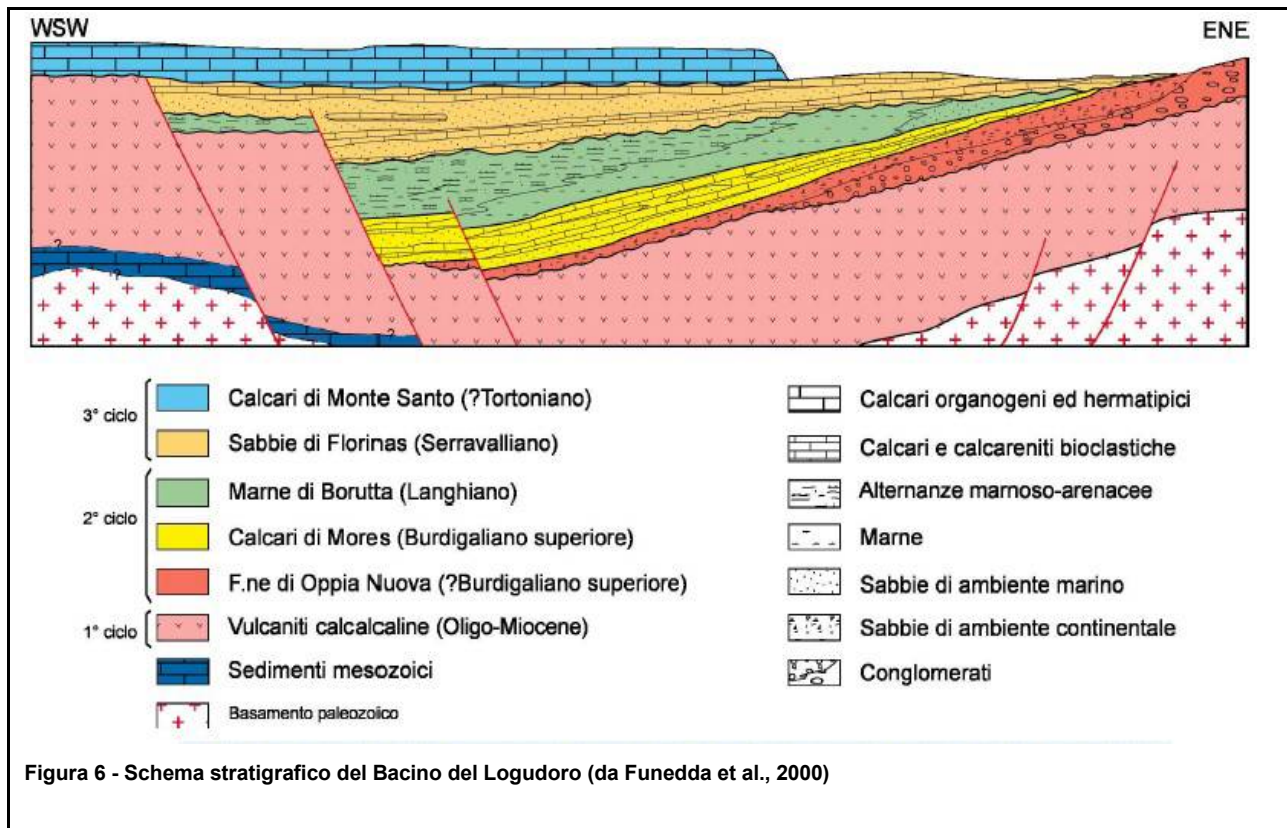
Con il Burdigaliano superiore in tutta l'Isola si ha un cambiamento del regime deformativo, che da trascorrente (con ampie zone soggette a transpressione e transtensione), diventa distensivo. Durante questo periodo sulla terraferma, depositi trasgressivi del Burdigaliano superiore-Langhiano si rinvencono nel Logudoro e nel Sassarese proseguendo in mare nel Golfo dell'Asinara. In questo settore, la distinzione tra le strutture trascorrenti oligo-aquitane e i depositi associati ("1° ciclo") dalle strutture distensive del Burdigaliano e i relativi sedimenti ("2° ciclo") è facilitata dal fatto che le faglie dei due eventi hanno direzioni fortemente differenti.

Il bacino del Logudoro è un semi-graben, orientato NNW che si estende dall'altopiano di Campeda a sud fino alla zona di Ittiri e Ploaghe a nord; il margine occidentale è limitato da una serie di faglie dirette mentre quello orientale è caratterizzato dalla trasgressione miocenica su un substrato costituito prevalentemente dalle vulcaniti aquitaniane-burdigaliane.

I sedimenti, procedendo da est verso ovest, mostrano un'evoluzione da ambienti prossimali a distali. Il riempimento del bacino è costituito da tre sequenze stratigrafiche principali: la più antica in quest'area è rappresentata esclusivamente da vulcaniti del Miocene inferiore e relative epiclastiti (1° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico); la seconda sequenza è una successione sedimentaria costituita alla base da sedimenti clastici grossolani tipici di ambiente alluvionale, da conoide prossimale a delta, che passano a calcari litorali e sabbie, seguiti da siltiti e marne arenacee epibatiali (2° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico). Questa seconda sequenza ha un'età che va dal Burdigaliano superiore fino al Langhiano, poggia con rapporti di onlap sulle sottostanti vulcaniti ed epiclastiti ed è interrotta superiormente da una superficie erosiva; la terza sequenza deposizionale (3° ciclo tettono-sedimentario oligo-miocenico) che arriva fino al Tortonian(?)-Messiniano, è costituita da sabbie fluvio-marine alla base e da calcari di piattaforma interna ricchi in alghe (Mazzei & Oggiano, 1990).

Gli stessi aspetti stratigrafici e strutturali sono evidenti anche nel bacino di Porto Torres che si sviluppa a NW, con cui il bacino del Logudoro è collegato tramite una complessa zona di trasferimento che inverte la geometria dei bacini. Le faglie NNW che strutturano i due bacini non affiorano con continuità: in genere si configurano come ristrette zone di taglio più che come singole superfici e, spesso, sono state riattivate a più riprese, sia durante l'evoluzione dei bacini miocenici che nel Pliocene. Le successioni interessate dalla deformazione oligo-miocenica sono ricoperte in discordanza dagli espandimenti basaltici di età pliocenica, la cui messa in posto è collegata a un nuovo ciclo vulcanico connesso alla dinamica estensionale che ha interessato la Sardegna e il Tirreno nel Plio-Pleistocene; le datazioni radiometriche delle rocce vulcaniche hanno, infatti, fornito età comprese tra 5,3 e 0,14 Ma (Beccaluva et al., 1985).

In sintesi, l'evoluzione sedimentaria nella Sardegna Settentrionale è caratterizzata da numerosi cicli trasgressivo-regressivi, fra loro alternati.



Poiché il bacino di sedimentazione del Logudoro-Sassarese è stato interessato durante il Miocene da diverse oscillazioni eustatiche e da instabilità tettonica, sono state distinte differenti unità litostratigrafiche, riconducibili a due cicli sedimentari marini miocenici. Le unità stratigrafiche più significative, sono le seguenti:

- Formazione di Oppia Nuova (Burdigaliano medio-sup.): consiste di depositi silicoclastici di ambiente continentale, caratterizzati da transizioni verticali e laterali da sabbie grossolane, talvolta conglomeratiche, quarzoso-feldspatiche, a sabbie più fini e stratificazione piano-parallela o incrociata. Il passaggio verso l'alto a sabbie marine fossilifere e a calcari sabbiosi testimonia la graduale sommersione e lo stabilirsi di condizioni marine di un ambiente di piattaforma interna, che caratterizza la successiva unità (Barca, Spano et al., 2000);
- Calcarei di Mores (Burdigaliano superiore) (di interesse): le facies prevalenti consistono in biocalcareni detritico-organogene da biohermali a biostromali, deposte in ambiente di piattaforma medio-esterna; talvolta si presentano più friabili in conseguenza di una maggiore componente sabbiosa. Questa unità include sabbie quarzoso-feldspatiche, talvolta

cementate, probabilmente legate a fasi regressive minori, tipiche di un ambiente caratterizzato da fondali costieri sabbiosi con livelli fossiliferi ricchi in echinidi, bivalvi e foraminiferi. Tali litologie poggiano generalmente con contatto netto sui prodotti piroclastici o sui tufi calcarei.

- Marne di Borutta (Burdigaliano superiore-Langhiano superiore): quest'unità, tipica di un processo di sedimentazione in ambiente marino profondo (circalitorale – epibatiale), poggianti sui calcari e sabbie dei “Calcari di Mores”, affiora nel Sassarese e nel settore nord-occidentale e centrale del Logudoro. E' costituita da strati di marne, marne argillose, sabbie calcaree, che si alternano a strati marnoso arenacei, con livelli fossiliferi ed a livelli decimetrici più siltosi e cementati, con bioturbazioni (Barca et al., 2000).
- Sabbie di Florinas (Langhiano superiore- Serravalliano medio-sup.): la loro deposizione riguarda un periodo di breve emersione, per cui poggiano in discontinuità sulle “Marne di Borutta” e sui “Calcari di Mores”, lungo una superficie erosiva. Si tratta di sabbie microconglomeratiche incoerenti, costituite da elementi quarzoso-feldspatici, indicanti un prolungato trasporto fluviale, con intercalate biocalcareni litorali. Affiorano soprattutto nei dintorni di Florinas e a sud di Ploaghe.
- Calcari di Monte Santo area sensibile (Tortoniano-Messiniano inf.): è legata a una nuova fase trasgressiva (3° ciclo sedimentario miocenico), nella quale si depositarono calcari detritico-organogeni, di piattaforma con paleobatimetria che non superava probabilmente i 15-20 metri. Affiora in particolare in gran parte del tessuto urbano di Sassari.

Il complesso sedimentario miocenico, risulta in prevalenza ricoperto da colate basaltiche (tipicamente localizzate sulla sommità di altopiani) appartenenti al ben noto ciclo magmatico effusivo plio-quadernario e da litologie continentali quadernarie (nell'area di studio). Durante il Quadernario, l'instabilità climatica e i processi di erosione hanno generato soprattutto depositi di versante, falde di detrito e depositi colluviali frequenti alla base di scarpate carbonatiche. Depositati alluvionali ciottolosi a elementi eterometrici grossolani e non cementati, costituiti da clasti appartenenti alle litologie affioranti, soprattutto calcarei e basaltici, affiorano lungo i corsi d'acqua presenti nell'area.

1.1 - Caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche del territorio

I lineamenti morfologico-strutturali di un territorio sono il risultato della combinazione di processi geodinamici legati sia all'azione di forze endogene (orogenesi, vulcanismo, tettonica, ecc.) sia esogene (agenti esterni come vento, acque correnti, gravità, ecc.), responsabili di processi di erosione e di sedimentazione, condizionando il modellamento delle superfici esposte.

Il quadro morfologico del territorio di Sassari e i suoi dintorni rispecchiano la costituzione geolitologica e strutturale del Logudoro nord-occidentale, che conserva i segni d'importanti eventi geologici, legati al sistema di rifting Oligo-Miocenico, all'Orogenesi Alpina e alla neotettonica quaternaria, cui si attribuiscono la riattivazione delle lineazioni tettoniche e il ringiovanimento delle forme di rilievo. Più a sud di Sassari, il paesaggio si contraddistingue per la presenza di superfici strutturali come plateaux basaltici, mesas su rocce calcaree e rilievi collinari asimmetrici dal profilo

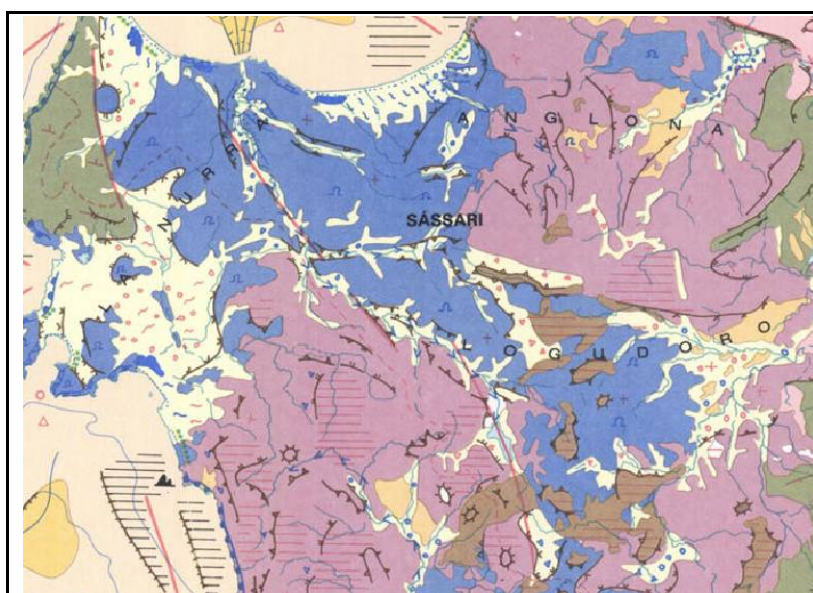


Figura 7 - Stralcio della Carta Geomorfologica della Sardegna (1:250.000)

caratteristico (cuestas), separati da valli larghe con versanti dolci o poco acclivi.

La presenza di rilievi tabulari emergenti e isolati rispetto alla morfologia circostante è il risultato di processi di erosione differenziale, che hanno determinato un'inversione del rilievo, per via dell'arretramento di tratti di versante e dello scalzamento dei margini, poiché l'erosione si manifesta preferenzialmente sui litotipi

meno resistenti e competenti (sedimenti terziari e quaternari), non protetti dai banchi di roccia calcarea e/o dalle colate basaltiche.

La principale caratteristica morfologica del Sassarese, costituito prevalentemente da litologie calcareo-marnose della serie marina miocenica, è offerta da una serie di pianori (es. Serra Secca, San Quirico, Zinziodda, ecc.) costituenti un'estesa area ad andamento quasi tabulare declinante a nord-ovest verso il Golfo dell'Asinara e la pianura della Nurra, mentre a sud-est il terreno è prevalentemente collinare. Il territorio, adagiato su un tavolato calcareo-marnoso è costituito localmente da valli e gole, più o meno incise che ne interrompono la continuità.

Per quanto riguarda la giacitura delle bancate calcaree e calcareo-marnose è, salvo lievi ondulazioni, quasi dovunque sub-orizzontale; l'assetto strutturale delle formazioni calcaree assunto nel territorio di Sassari presenta un andamento monoclinale, con pendenza oscillante tra gli 8° e i 12° verso NO. Poco più a sud di Sassari, l'andamento monoclinale della successione è interrotto lungo la linea Rio Mascari - Valle di Bunnari da una faglia il cui rigetto si aggira intorno

ai 40 metri sia a “Sa Crabola” sia in prossimità di “Chighizzu”. Questa lineazione tettonica è caratterizzata da una serie di valli più o meno incise, fra cui quella di Rio Mascari, Sa Crabola, Badde Olia Bunnari, ecc ..., situate a ESE dell’area in esame. Lungo tali valli si possono osservare versanti e ripide pareti in rocce calcaree, in particolare in località Costa Chighizzu e Scala di Giocca, un’alternanza di strati di calcari detritico-organogeni e calcareniti, formano costoni rocciosi verticali o molto acclivi con esposizione sud-orientale. Queste forme di rilievo, sia per la giacitura dei litotipi affioranti (stratificazione e alternanza di calcari e calcari marnosi) sia per esposizione topografica sono interessate da processi di versante legati alla gravità, con potenziali fenomeni d’instabilità legati a crollo e/o ribaltamento, localizzabili a margine delle pareti verticali o subverticali che bordano i tavolati rocciosi a Est.

1.1.1 – Idrografia superficiale e caratteristiche idrogeologiche

Il territorio in esame appartiene all’Unità Idrografica Omogenea (U.I.O) del Mannu di Porto

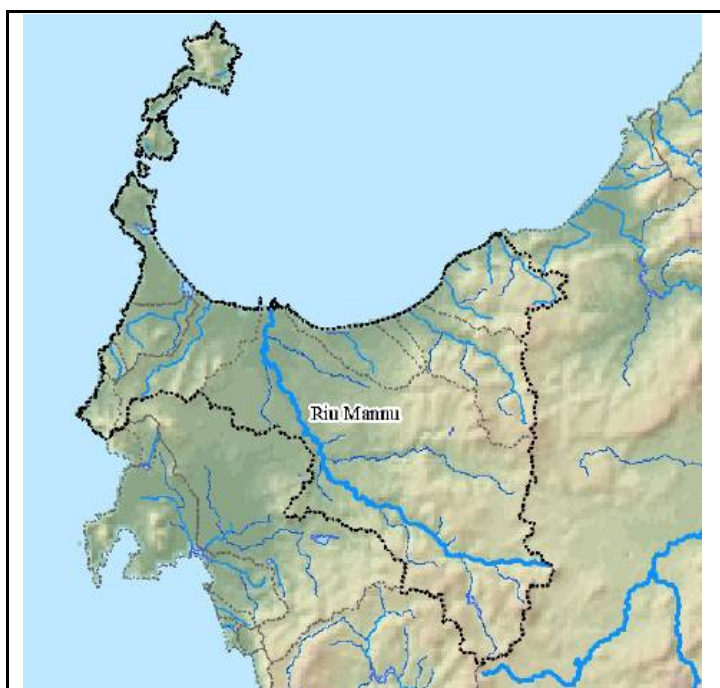


Figura 8 – UIO Rio Mannu di Porto Torres

Torres. Il bacino del Riu Mannu di Porto Torres, si sviluppa in una vasta area della Sardegna nord-occidentale, all'interno dell'area denominata “Fossa Sarda”, che è stata interessata in diversi periodi da ripetute trasgressioni e regressioni marine e da numerose manifestazioni vulcaniche. È caratterizzato da un'intensa idrografia dovuta alle varie tipologie rocciose attraversate (vulcaniti oligo-mioceniche, complesso sedimentario miocenico, calcari mesozoici della Nurra, vulcaniti plio-pleistocenici e depositi quaternari).

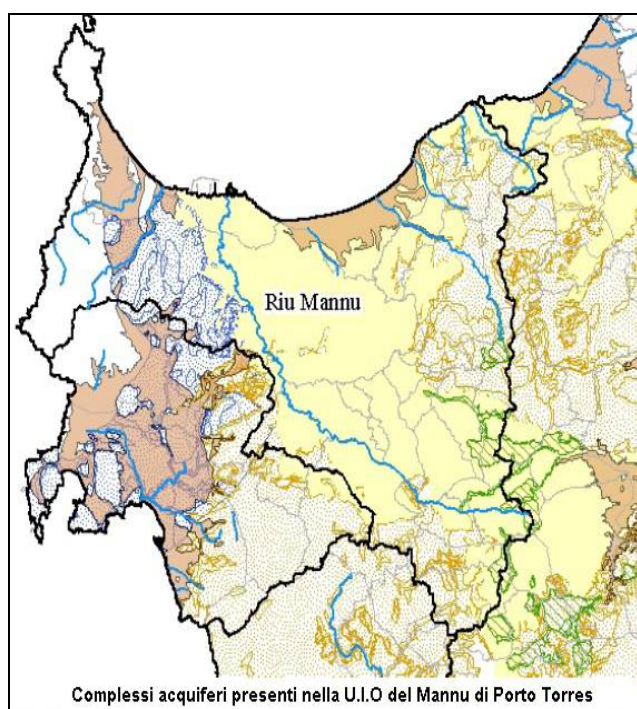
Nell'area esaminata non sono rilevabili

sorgenti e non si evidenzia un reticolo idrografico vero e proprio, soprattutto verso Sud. Infatti, si interseca una depressione assimilabile ad un impluvio potenziale di I° ordine (Horton-Strahler) ma costantemente privo di deflusso idrico. L'esame della ricerca della falda freatica (archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo – ISPRA legge 464/84) potenzialmente presente nell'areale ha evidenziato la localizzazione mediamente superiore ai 30 metri). In funzione di tale evidenza è facile supporre che l'acquifero sia costituito dalle calcareniti ed abbia uno spessore

compreso tra 50 e 80 metri, sino al raggiungimento delle sottostanti ignimbriti, costituenti un basamento pressoché impermeabile.

Il Riu Mannu è il fiume più importante della Sardegna settentrionale, nasce dal monte Sa Figu (376 mt), si sviluppa in direzione sud est-nord ovest per una lunghezza di circa 65 chilometri fino a sfociare nel golfo dell'Asinara nei pressi di Porto Torres. L'area nella quale si sviluppa il corso d'acqua è caratterizzata da una serie di colline di media altezza, da falsipiani e tavolati modellati nei sedimenti calcarei di età miocenica. I suoi emissari hanno un andamento lineare, ortogonale alla linea di costa. L'idrografia del territorio è caratterizzata in prevalenza da corsi d'acqua a regime torrentizio; la frequenza delle incisioni vallive è funzione del diverso grado di permeabilità delle formazioni geologiche di copertura, soprattutto in corrispondenza delle grosse bancate calcarenitiche.

Tra le principali aste fluviali riveste particolare importanza il Rio Ottava, che scorre a NW di Sassari su un'area d'impostazione tettonica, con andamento est-ovest. Il complesso acquifero, nell'ambito dell'unità idrografica omogenea del Mannu di Porto Torres, che caratterizza il settore in esame, è l' Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese.



Tale complesso acquifero, in base alla litologia componente è costituito da una o più unità idrogeologiche con caratteristiche idrogeologiche sostanzialmente omogenee. In particolare si possono distinguere:

1. Calcari, calcareniti, arenarie marnose con subordinate marne e siltiti, conglomerati e arenarie, sono caratterizzati da permeabilità complessiva medio-alta; da medio-bassa a medio-alta per porosità nei termini detritici, medio-alta per fessurazione e/o carsismo nei termini carbonatici;
2. Marne, marne arenacee e siltose, conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie, con locali intercalazioni tufacee. Sono caratterizzati da permeabilità complessiva medio-bassa per porosità; localmente medio-alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei.

conglomerati a matrice argillosa con subordinate arenarie, calcareniti e sabbie, con locali intercalazioni tufacee. Sono caratterizzati da permeabilità complessiva medio-bassa per porosità; localmente medio-alta per porosità nei termini sabbioso-arenacei.

Le formazioni affioranti nel settore in studio sono rappresentate da terreni della successione sedimentaria marina del Miocene, e localmente da una debole copertura di depositi quaternari costituiti da falde di detrito, da depositi alluvionali e colluviali.

Dal punto di vista idrogeologico i sedimenti marini miocenici, si comportano come rocce variamente permeabili, in funzione della presenza di livelli marnoso-argillosi (non acquiferi), che in genere si alternano a strati sabbioso-arenacei (acquiferi). I calcari oligo-miocenici presentano una parziale capacità di immagazzinare acqua e sono da considerarsi rocce semipermeabili, poiché la relativa permeabilità è legata sia alla porosità interstiziale sia alla presenza di discontinuità nell'ammasso roccioso (permeabilità per fessurazione o per carsismo).

Terreni a media permeabilità sono le rocce calcareo-marnose e arenacee in cui il grado della permeabilità è legato alla presenza di fratture, di livelli argillosi intercalati ai pacchi calcarei o arenacei e, in via subordinata, all'effetto della loro alterazione; di permeabilità variabile possono essere considerati sedimenti sabbiosi e conglomeratici più o meno cementati.

Terreni con permeabilità scarsa o impermeabili sono rappresentati dalle marne argillose-arenacee della Formazione delle Marne di Borutta. Le bancate di calcari organogeni sono intercalate da livelli lenticolari di marne e marne calcaree, che trattengono l'acqua dei calcari sovrastanti dando luogo in genere a falde sospese. I depositi quaternari, rappresentati da coltri detritiche e da alluvioni grossolane a elementi etrometrici, allo stato sciolto o semicoerente, sono terreni a buona circolazione idrica per l'intrinseca porosità primaria, sede di falde freatiche superficiali.

1.1.2 - Permeabilità di contesto dell'areale sensibile

La permeabilità è una proprietà caratteristica delle terre/rocce ed esprime l'attitudine delle stesse a lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa quindi si manifesta con la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee. Poiché i terreni e le rocce non sono corpi omogenei, è intuibile che all'interno degli stessi varino sia le caratteristiche chimico-fisiche, che le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità, la permeabilità per le litologie considerate, non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" (in cm/s) ma da un intervallo di questo.

Geologicamente nell'area sensibile affiorano rocce della serie marina miocenica rappresentati dalla litofacies nella Formazione di Mores, sovrastanti livelli di marne, marne argillose e marne calcaree ("Marne di Borutta"), che talvolta s'intercalano agli stessi calcari organogeni.

I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento (tab. 1) possono essere suddivisi in 3 classi di permeabilità:

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, localmente medio - bassa ⇒ [Alluvioni recenti e detriti eluvio colluviali dell'Olocene] Si tratta di terreni a circolazione idrica discreta, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta in corrispondenza di livelli ciottoloso-sabbiosi in prossimità degli alvei dei corsi d'acqua, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli fini ben costipati e/o cementati delle alluvioni terrazzate [$10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$].

Classe 2 → Permeabilità medio-alta per fessurazione: comprende la Litofacies di Mores caratterizzati da calcari bioclastici, calcari arenacei e calcareniti con permeabilità medio-alta per fessurazione e carsismo, localmente medio-bassa [$10^{-2} > K > 10^{-5}$];

Classe 3 → Permeabilità da bassa a impermeabile: comprende le marne, marne argillose, marne arenacee della "Formazione di Borutta" (Langhiano). Questi sedimenti presentano scarsa permeabilità per porosità e per fessurazione e, spesso costituiscono il letto su cui si accumulano le acque che s'infiltrano nelle bancate calcaree sovrastanti dando così origine a falde sotterranee medio-profonde, [$10^{-9} \geq K$].

In sintesi, non esistono condizioni attuali in cui l'attività in oggetto possa interferire con la geologia e l'idrologia del settore. Da quanto su esposto si evince che la struttura in progetto non aumenta il livello di rischio idraulico poiché non comporta ostacolo al naturale deflusso delle acque superficiali e sotterranee nell'area.

1.2 - Inquadramento climatico generale

L'area in esame mostra caratteri orografici omogenei con il territorio di Sassari, localizzato a ESE. Il territorio si sviluppa su una superficie calcarea che declina verso il Golfo dell'Asinara e si presenta a sud-est con un andamento prevalentemente collinare mentre a nord-ovest con un'ampia estensione pianeggiante (area della Nurra). Dal punto di vista altimetrico il territorio è situato per tutta la sua superficie tra m.0 e m.489 s.l.m con un'altitudine media di 225 metri sul livello medio del mare. Per delineare i caratteri climatici dell'area vengono analizzati e descritti i principali parametri meteorologici: temperatura, piovosità e ventosità. A tal fine in primo luogo sono stati acquisite le serie storiche dei dati pluvio-termometrici rilevati nelle stazioni meteorologiche ricadenti nel territorio in esame ed in quelle ubicate nel suo intorno.

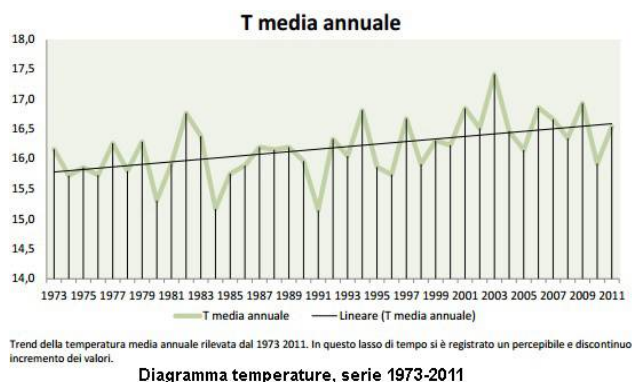
In termini generali il territorio di Sassari è caratterizzato da un clima mediterraneo, tipico di gran parte della Sardegna, definito da un periodo di surplus idrico contrapposto a un altro, più lungo, di forte deficit, caratterizzato da elevate temperature. Un clima quasi bi-stagionale, condizionato dalla presenza di due fasi critiche, una invernale per le basse temperature, ed una estiva per la scarsa quantità di precipitazioni disponibili (Mitrakos, 1991).

L'area è inoltre, solo per una modesta parte, condizionata dalla presenza del mare, influenza che viene meno per la presenza dei primi rilievi del basamento miocenico o per la presenza di formazioni collinari che raggiungono il mare con notevoli pendenze. Mentre più significativa è l'influenza di fattori legati alle attività antropiche, in particolare nel centro urbano e nelle aree industriali e artigianali, ma anche nelle aree coltivate che investono ampie superfici. La mancanza d'importanti rilievi determina un'uniformità delle caratteristiche macroclimatiche dell'area. Lo studio delle variabili climatiche è stato effettuato attraverso l'analisi dei dati rilevati dalla stazione termo-pluviometrica di Sassari, posta a 224 m s.l.m. su una serie derivata da più di 40 anni di osservazioni.

1.2.1 - Parametri meteo climatici

Temperatura

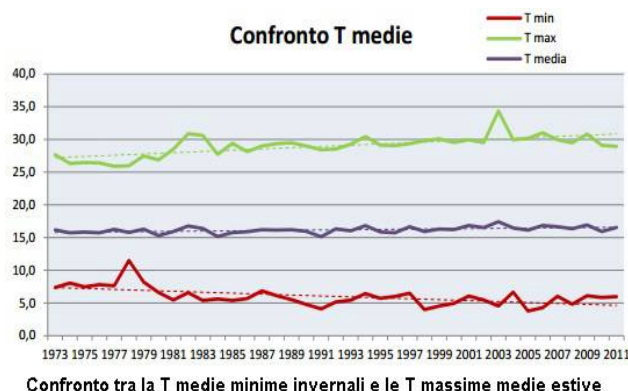
L'andamento medio annuo delle temperature rilevate dal 1973 al 2011 (riportato nei grafici



sottostanti) ci permette di fare alcune considerazioni significative. Il valore medio della temperatura risulta pari a 16,2°C. Il picco corrisponde al valore medio del 2003, di 17,4°C, mentre il valore più basso corrisponde a 14,2°C del 1976. Nel periodo di tempo considerato è possibile notare che negli anni l'andamento delle temperature medie minime è in continua diminuzione, mentre si registra un aumento delle medie massime. La temperatura media annuale ha avuto un aumento significativo, anche se non lineare, tra il 1992 e il 2003, per poi attestarsi negli ultimi anni su valori più stabili.

Pluviometria

Per quanto riguarda l'entità delle precipitazioni su base annuale, nel sito dell'Agenzia Regionale



del Distretto Idrografico della Regione Sardegna sono stati reperiti i dati relativi agli anni dal 1986 al 2007.

In questo periodo si è registrata una piovosità media di 615,9 mm con un massimo di 877,4 mm fatto registrare nel 2002 e un minimo di 354,4 mm, relative all'anno 2006. Di seguito viene riportato il grafico del cumulo di precipitazione relativo al periodo Ottobre 2010 - Aprile 2011 in Sardegna. L'area del Comune di Sassari per quanto riguarda la quantità di precipitazioni annue non presenta caratteristiche differenti rispetto alle aree limitrofe. In questo contesto, già di per sé tendenzialmente siccitoso, occorre evidenziare che nell'ultimo cinquantennio ci sono stati periodi, anche abbastanza lunghi, con precipitazioni al di sotto della media. Questa variazione del regime pluviometrico, accompagnata dalle variazioni climatiche e da un aumento dei processi di degrado del suolo, ha fatto sì che la Sardegna sia tra le regioni d'Europa a maggiore rischio di desertificazione. Per questo motivo, con Deliberazione della Giunta del 29 agosto 2002, n. 29/17, ha predisposto uno stanziamento per la realizzazione di un Sistema Informativo Geografico (GIS) per il monitoraggio delle aree del territorio regionale a rischio di desertificazione.

Ventosità

Si riporta un riepilogo delle misure di velocità e direzione rilevate nel periodo 1997-2009, dall'anemometro situato all'interno della stazione ubicata nella zona industriale Preda Niedda a Sassari.

% provenienza venti per intensità									
Classe velocità	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	Direzione non definita
Calma (V<1m/s)	-	-	-	-	-	-	-	-	30.9
Vento debole (1.0 ÷ 5.5 m/s)	2.0	3.6	4.2	16.8	11.4	6.5	5.9	10.5	-
Vento moderato (5.5 ÷ 10.7 m/s)	0.2	0.6	0.4	1.1	1.7	1.2	1.2	1.9	-
Vento forte (10.7 ÷ 17.4 m/s)	0.006	0.03	0.01	0.05	0.08	0.04	0.06	0.03	-
Burrasca (>17.4 ÷ 5.5 m/s)	0	0.0011	0.0003	0.0009	0.0012	0.0009	0.0018	0.0014	-

Fonte: Documento preliminare per il Piano Energetico Ambientale Comunale.

Ventosità nella stazione anemometrica di Preda Niedda (SS)

Le precipitazioni si concentrano soprattutto nei mesi invernali e autunnali. I dati pluviometrici differiscono a seconda dell'altimetria e della distanza dal mare, la media nel territorio comunale è di 588,2 mm/anno, ma notevoli differenze si riscontrano nelle stazioni localizzate nell'area urbana e in particolare nei quartieri meridionali, fino a un massimo di 647,7 mm/anno presso la stazione meteorologica di Serra Secca, posta a 310 metri sul livello del mare. Secondo la Classificazione di Koppen il territorio di Sassari presenta un clima temperato di tipo Mediterraneo della zona C (Decreto del presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993), caratterizzato da un lungo periodo di siccità estiva e inverni piovosi con temperature miti. Il mare contribuisce a determinare

La direzione prevalente del vento è nord-ovest ed ovest.

In sintesi, Sassari presenta un clima temperato caldo di tipo mediterraneo. Gli inverni sono miti e umidi, le estati calde e secche. Le

questo clima, il quale è temperato caldo, con escursioni termiche giornaliere ed annue modeste (inferiori a 21 °C): infatti il mare trattiene il calore estivo e lo rilascia durante l'inverno.

1.3 – Assetto geologico dell'area di sedime

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico di superficie effettuato con tutte le informazioni ricavate dalla miscellanea presente, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini esistenti su simili contesti territoriali.



Figura 9 – Inquadramento geologico 25.000 (fonte Sardegna geoportale)

Litologicamente è interessato da terreni sedimentari oligo miocenici del Logudoro Sassarese, rappresentati dalla litofacies nei calcari di Mores (RESa). Questa è la formazione miocenica che affiora con maggiori estensioni ed una notevole varietà di facies in relazione ai diversi contesti deposizionali che accompagnano l'evoluzione del bacino di sedimentazione (Rift sardo Auct.). Gli affioramenti più

importanti occupano la parte centrale di tutto il territorio del Foglio di Sassari, attraversandolo in senso meridiano da Ittiri sin'oltre il Riu di Ottava. Altri affioramenti minori si rinvencono nei dintorni di Sennori, Florinas, P.ta Mariotti e nella valle del Riu Mannu.

Delle quattro litofacies, quella più diffusa è RESa, che caratterizza in maniera evidente il paesaggio della nostra area. E' costituita da biocalcareni e calcari bioclastici a banchi di ostree ed altri bivalvi, ed echinidi (Amphiope, Scutella, Clypeaster) (SP Sassari-Ittiri, SS. 127 bis, località Rocca su Sale), spesso con evidenti clinostratificazioni (Riu Mannu, M. Cuga, Valle dei Ciclamini). La litofacies RES b (non in evidenza), prevalentemente costituita da conglomerati, presenta invece un contenuto principalmente silicoclastico con cemento carbonatico da abbondante a scarso; i clasti, in genere ben arrotondati, presentano dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche talvolta decimetriche, e sono principalmente costituiti da quarzo e localmente da vulcaniti terziarie e rocce del basamento paleozoico. Affiora principalmente a W di Uri, lungo il Riu Mannu e in località Saccheddu. In genere la litofacies RESb affiora in posizione sottostante

alla litofacies RESa (Riu Mannu, M. Minudo, Sas Monzas), mentre più a S (Sas Giorras, Campagnuzzu) è la litofacies carbonatica (RESa) che precede stratigraficamente quella terrigena (RESb).

A contorno si rilevano depositi più recenti alluvionali (bb), soprattutto verso nord. Infatti l'area è solcata da numerosi corsi d'acqua; tra i maggiori il Riu Mannu, che attraversa l'areale del territorio con andamento diagonale, ed i suoi numerosi tributari: il Riu Mascari, il Riu d'Ottava, il Riu su Mattone-Sardino e il Riu Sa Cafala. L'alveo di questi corsi d'acqua, come la maggior parte dei torrenti dell'area, è interessato durante la maggior parte dell'anno da scorrimento idrico estremamente esiguo, che viene fortemente attivato durante gli eventi piovosi eccezionali. I depositi alluvionali sono sempre di modesto spessore e spesso affiora il substrato roccioso. Sulla pianura di esondazione prevalgono i sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie (bb). Le strutture sono rappresentate da stratificazione piano parallela o incrociata concava, con riempimento di canali a bassa profondità e interessati localmente da migrazione laterale. Lo spessore di questi sedimenti, difficilmente valutabile, è nella maggior parte dei casi intorno a qualche metro, ma nel Riu Mannu può raggiungere i 15 m.

Sempre a contorno, ma verso sud sono presenti al di sopra del substrato sedimentario carbonatico, depositi detritici eluvio colluviali (b2). Si tratta di depositi sabbiosi e siltosi in cui sono presenti percentuali variabili di detriti da fini a medi, con porzioni arricchite di frazione organica e, talora, suoli sepolti in genere a profilo poco differenziato. L'elevata presenza della frazione organica indica che si tratta di sedimenti derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, mescolati a sedimenti provenienti, per degradazione fisica, direttamente dal substrato. Lo spessore in genere esiguo, di solito inferiore al metro, localmente può arrivare fino a qualche metro.

1.4 – Pericolosità geologica

L'insieme dei fenomeni geologici e dei loro effetti su una determinata zona rappresenta quella che si definisce la pericolosità geologica, che comprende i fenomeni naturali quali ad esempio le frane, le alluvioni, i terremoti, le eruzioni vulcaniche ect. Nella fattispecie in questione, il quadro normativo di riferimento della Regione Sardegna disciplina la pericolosità idrogeologica e la pericolosità sismica.

1.4.1 - Pericolosità Idrogeologica

In riferimento al rischio idrogeologico la Regione Sardegna ha elaborato dei piani cui bisogna rapportarsi per qualsiasi opera e/o intervento da realizzarsi.

- Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), elaborato dalla Regione Sardegna ai sensi della L. 18.05.1989 n. 183 e dalla L. 03.08.1998 n. 267, approvato con D.P.G.R. n. 67 del 10.07.2006 e aggiornato con D.P.G.R. 148 del 26.10.2012, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.
- Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.) approvato definitivamente dal Comitato istituzionale con Delibera n.2 del 17.12.2015, è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali; costituisce un approfondimento ed una integrazione del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
- Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA)

Il Comune di Sassari è ricompreso all'interno del U.I.O del Mannu di Porto Torres così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale" (sulla base di quanto disposto dalla normativa P.A.I per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna "Allegato E/F" (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica di cui agli articoli 24/25 delle norme di attuazione del PAI Titolo III cap. I/II/III), in un'area con assenza sia di pericolosità idraulica Hi (Art. 8 - Rev. 41) sia di pericolosità geomorfologia (Rev. 42).

1.4.2 - Progetto P.S.F.F

Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Mannu di Porto Torres, sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica.



Figura 10 - Fascia C – Art. 8 – Rev. 41/42

1.4.3 - Progetto I.F.F.I

Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna (IFFI) relativo al bacino del Mannu di Porto Torres, nell'area non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.

1.4.4 - Pericolosità sismica di base

Per ridurre gli effetti del terremoto, l'azione dello Stato si è manifestata attraverso la Classificazione Sismica del Territorio, che si basa sull'intensità e frequenza dei terremoti del passato, e l'applicazione di speciali norme tecniche per le costruzioni (NTC) nelle zone classificate sismiche. Ai fini della caratterizzazione del territorio o di porzioni di esso è pertanto importante individuare l'appartenenza di ciascun comune o porzione di esso ad una delle zone sismiche definite sulla base del valore massimo del parametro di pericolosità sismica valutato all'interno dell'area considerata.

Quadro Normativo e Caratterizzazione Sismica del Territorio

La legislazione antisismica italiana, sino al 2003 classificava il territorio nazionale in tre categorie sismiche. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102,

Decreti fino al 1984	GdL 1998	Classificazione 2003
S=12	Prima categoria	zona 1
S=9	Seconda categoria	zona 2
S=6	terza categoria	zona 3
non classificato	N.C.	zona 4

corrispondente al 45% della superficie del territorio nazionale nel quale risiede il 40% della popolazione. Nei Decreti emessi fino al 1984 la sismicità fu definita attraverso il "grado di sismicità"

S; nella proposta di riclassificazione del GdL del 1998 si utilizzarono 3 categorie sismiche più una categoria di Comuni Non Classificati (NC). La corrispondenza fra le diverse definizioni succedutesi nel tempo è sintetizzata in tabella. Nella Classificazione 2003 la sismicità fu definita da quattro zone omogenee numerate da 1 a 4. I criteri di classificazione sismica del territorio nazionale contenuti nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, furono basati sugli studi e le elaborazioni relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio fosse interessato in un certo periodo (generalmente 50 anni) da un evento che superava una determinata soglia di intensità o magnitudo. L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", affidò alle Regioni l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche dando in questo modo attuazione

al D. Lgs. 112/1998 ed in particolare agli articoli 93 comma 1g e 94 comma 2a, indicanti la ripartizione tra Stato e Regioni delle competenze in materia di riduzione del rischio sismico. L'Ordinanza, allineando il sistema normativo per le costruzioni in zona sismica al sistema dei codici europei (EC8), consentì la razionalizzazione del processo d'individuazione delle zone sismiche.

L'allegato 1 di tale Ordinanza, il cui aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004) previsto dall'O.P.C.M. 3274/03 fu adottato con l'O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006, stabilì che le zone sismiche erano individuate da 4 valori dell'accelerazione orizzontale di picco del suolo [ag] con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. In particolare le "Norme tecniche" indicarono 4 valori di accelerazioni orizzontali (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da

applicare; pertanto la sismicità fu definita mediante zone omogenee numerate da 1 a 4 in ordine crescente di pericolosità.

- Zona 1 - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali $[ag/g] \geq 0,25g$.
- Zona 2 - Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali $0,25g > [ag/g] \geq 0,15g$ possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3 - Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali $0,15g > [ag/g] \geq 0,05g$ possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- Zona 4 - È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali $[ag/g] < 0,05g$ le possibilità di danni sismici sono basse.

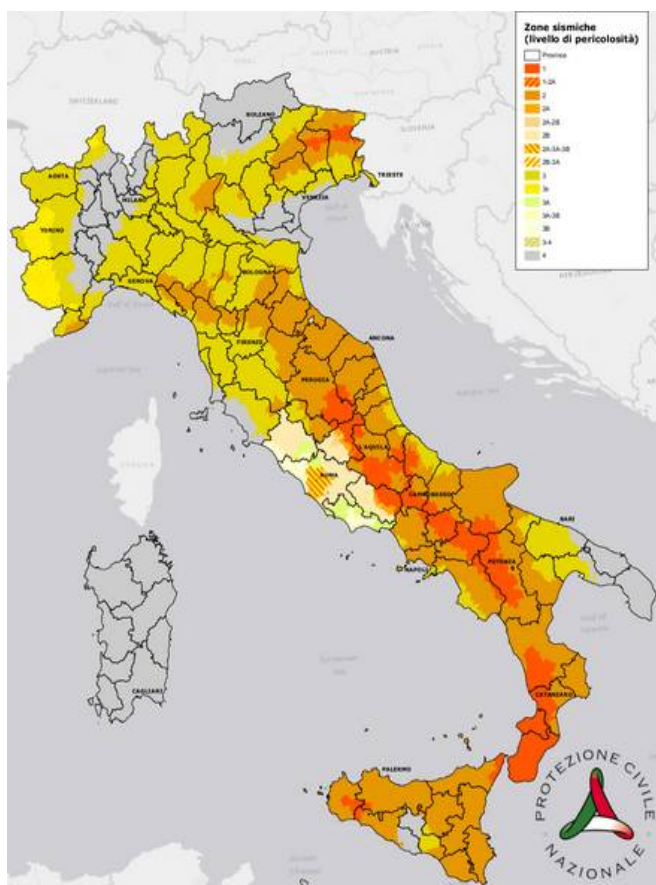


Figura 11 - Livello di pericolosità sismica dei Comuni italiani (2020)

Nella Carta della Zonazione Sismica del territorio nazionale (2003-2004) e nella Classificazione Sismica dei Comuni Italiani

(OPCM 3274 20/03/2003 Allegato A), il Comune di Sassari ricadeva in zona 4. Per la presenza di alcuni errori ed imprecisioni nel testo dell'Ordinanza 3274 furono emendate dalla successiva Ordinanza 3316 del 2 ottobre 2003 "Modifiche ed integrazioni al testo dell'Ordinanza 3274". L'Ordinanza 3431, pubblicata sulla G.U. del 10 maggio 2005, apportò inoltre ulteriori modifiche,

integrazioni e, a volte, semplificazioni all'Ordinanza 3274 del 2003, ne prorogò di ulteriori 3 mesi il periodo sperimentale di applicazione e traslò l'entrata in vigore, a carattere vincolante delle nuove norme sismiche al 8 agosto 2005 (adottato con l'Ordinanza del presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 Aprile 2006). Il periodo di proroga fu ulteriormente esteso da Ordinanze successive fino all'emanazione del "Testo Unitario per la Normativa Tecnica sulle Costruzioni (Testo Unico)" del 23 settembre 2005.

L'Ordinanza 3274 del 20 marzo 2003 non entrò mai in vigore come norma vincolante, ma il suo impianto generale fu tuttavia confermato dalle norme successive. Il DM 14/09/2005 "Testo Unitario per la Normativa Tecnica sulle Costruzioni", pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 23 settembre 2005, che rappresentò la legge di riferimento per l'ingegneria civile, identificò i livelli di sicurezza e le prestazioni delle costruzioni, unificando sia le norme relative al comportamento e alla resistenza dei materiali e delle strutture sia quelle relative alla definizione delle azioni e dei loro effetti. Più specificamente per l'analisi sismica il decreto riprese la caratterizzazione delle azioni con l'impostazione generale introdotta dalle Ordinanze 3274 e 3431. Le procedure operative di dettaglio descritte in queste ultime erano da intendersi solo come suggerimenti esemplificativi e non come imposizioni prescrittive. In particolare ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto il D.M. 14 settembre 2005 prescrisse "la necessità di valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale". Qualora tali valori non fossero disponibili, poteva essere utilizzata "la classificazione basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs o il numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media Cu". Nella mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale 2005, edita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il Comune di Sassari come l'intero territorio isolano, non presentò alcuna variazione: tutti i Comuni furono inseriti nella classe 4. L'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 al comma 2.1. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", dispone che "In zona 4 è lasciata facoltà alle singole regioni di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica", confermando quanto prescritto nelle precedenti ordinanze. Il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, stabilisce di recepire in via transitoria, fino a nuova determinazione conseguente all'aggiornamento della nuova mappa di rischi sismico nazionale, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna, così come riportato nell'allegato A dell'O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 in cui tutti i Comuni isolani sono inseriti in zona 4 rimane in vigore il D.G.R. 15/31 del 30 marzo 2004, che consente per i Comuni della Sardegna la "non introduzione dell'obbligo della

progettazione antisismica. Per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità, nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone. Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Le Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008), che sostituiscono quelle approvate con D.M. del 14 settembre 2005, hanno, infatti, modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona – e quindi territorio comunale – precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini Amministrativi Comunali. Va precisato che, in seguito a tale classificazione, tutte le regioni italiane (compresa la Sardegna) risultano a rischio sismico. In tutto il territorio nazionale vige quindi l'obbligo di progettare le nuove costruzioni e intervenire sulle esistenti con il metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite e tenendo conto dell'azione sismica. Limitatamente alle costruzioni ordinarie presenti nei siti ricadenti in zona 4, per le costruzioni di tipo 1 e 2 e di classe d'uso I e II, la norma consente l'utilizzo della "vecchia" metodologia di calcolo alle tensioni ammissibili di cui al D.M. 16 gennaio 1996, ma obbliga comunque a tenere conto dell'azione sismica con l'assunzione di un grado di sismicità convenzionale $S=5$. La Classificazione Sismica (Zona Sismica di Appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli Enti preposti. L'entrata in vigore della revisione della norma NTC08, nel 2018, segna il definitivo abbandono della metodologia delle tensioni ammissibili: dal 22/03/2018, con l'entrata in vigore delle NTC08 non sarà più possibile utilizzare questa metodologia, neanche per le ex-zone 4, a favore del metodo semiprobabilistico agli Stati Limite. Inoltre nella norma NTC2018 sparisce ogni riferimento alla classificazione in zone sismiche, un refuso di stampa contenuto nelle NTC08 che contrastava fortemente con la metodologia della norma e con il calcolo a nodi degli scuotimenti attesi.

a) Pericolosità Sismica Locale

L'obiettivo delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) nella progettazione di nuove strutture è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito. L'azione sismica di progetto è definita dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione descritta dalla probabilità che, in un fissato intervallo (periodo di riferimento "VR" espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR".

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:

- a_g - 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.

Poiché le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR variano al variare dello stato limite considerato, nelle verifiche devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo e di esercizio. In particolare, sono da valutare gli Stati Limite di Esercizio SLO (Stato Limite di Operatività) e SLD (Stato Limite di Danno) e gli Stati Limite Ultimi SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso). Per la determinazione di a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido) è indispensabile conoscere le coordinate geografiche decimali dell'opera da verificare. Si determina, quindi, la maglia di riferimento con l'ausilio delle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto: si ottengono in tal modo tre valori: a_g ($g/10$), F_0 e $T_c^* \rightarrow$ [definiscono le forme spettrali]. I valori di a_g , 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 realizzato l'impianto utilizzando la classe d'uso I (presenza occasionale di persone)

b) 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. I valori di VS eq possono essere ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. 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 la profondità del substrato è stata riferita al piano di imposta delle stesse: secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla Classe B.

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
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

c) Condizione Topografica

Il moto generato da un terremoto, oltre che dalle caratteristiche stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono, dipende dalle caratteristiche topografiche del sito. 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°”.

Caratteristiche della superficie topografica	CATEGORIE TOPOGRAFICHE	Valori minimi di V_N (anni)
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	T1

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

1.4.4.1 - Dati sismici sul sito (spettri di risposta)

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento, a partire dai tre parametri validi: a_g = accelerazione massima del terreno [$g/10$]; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; TC^* = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei

componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Dati sull'area SENSIBILE:

X = 1451575.3400 longitudine **E**

Y = 4513827.1430 latitudine **N**

Dati sulla costruzione:

Classe d'uso: I (presenza occasionale di persone)

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 0.700000

Vita di riferimento: 35.000000 anni

SLE (N.T.C 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000
(**SLO**) Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0181 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.6325$
 $\rightarrow Tc^* = 0.1699 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLD**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000
(**SLD**) Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0191 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.6309$
 $\rightarrow Tc^* = 0.1751 \text{ sec}$

SLU (N.T.C 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000
(**SLV**) Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0364 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.7627$
 $\rightarrow Tc^* = 0.2764 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000
(**SLC**) Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0429 \text{ g} \rightarrow Fo = 2.8012$
 $\rightarrow Tc^* = 0.3060 \text{ sec}$

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]

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 sono state svolte 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 NTC 2018 sulle costruzioni (§ 2.6 - § 3.2. ÷ 3.2.2. - § 7.11.3.), secondo le seguenti fasi:

- Sopralluogo nell'area in esame ed esame critico della situazione attuale;
- Stesura di una relazione geotecnica sulla base delle conoscenze dei luoghi litologici per esperienze pregresse svolte dallo scrivente sull'areale sensibile. I dati di dettaglio sono stati acquisiti tramite evidenze litologiche in affioramento nell'area sensibile: Litofacies nella Formazione di Mores (RESa) → Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi, calcari nodulari a componente terrigena. Ad essi si contrappongono verso nord in prossimità del fiume 85602 depositi alluvionali (bb) sabbiosi con subordinati limi e argille, e verso sud coltri eluvio colluviali (b2) detritici immersi in matrice fine.

2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE E STRATIGRAFICHE SUL SEDIME

L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il progetto ubicato in una zona sub pianeggiante leggermente degradante da NNE verso SSW, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente carbonatico miocenico. 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 sabbiosi alluvionali, a grana medio grossa, 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 del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta massimo a -2.0m da p.c..

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, di spessore superiore (superficiale) metrico da p.c., come ad esempio nei depositi detritici eluvio colluviali e/o alluvionali gli spessori si attestano nell'ordine di qualche metro. Superata la copertura si andrà ad intercettare una spessa coltre di alterazione dei calcari bioclastici ed organogeni.

Nel nostro caso, ci si potrà attestare con lo scavo per la realizzazione delle fondazioni su palo infisso, sempre all'interno di una stessa litologia detritica (b2), per la minima profondità di infissione, oltre una (probabile) parte nei carbonati inizialmente alterati che costituiscono il substrato della zona, così descritta:

- Depositi alluvionali e/o eluvio colluviali Olocenici (bb/b2): ghiaie e sabbie grossolane, sedimenti fini costituiti da sabbie con rare ghiaie e/o depositi sabbiosi e siltosi in cui sono presenti percentuali variabili di detriti da fini a medi, con porzioni arricchite di frazione organica e, talora, suoli sepolti in genere a profilo poco differenziato. Lo spessore in genere esiguo, di solito inferiore al metro, localmente può arrivare fino a qualche metro.
- Litofacies nella Formazione di Mores (RESa): biocalcareni e calcari bioclastici a banchi di ostree ed altri bivalvi, ed echinidi. Alternanze decimetriche di clasti di calcare organogeno biancastro, compatti e lapidei, e livelli di argilla limosa rubefatta, mediamente consistente e compatta, con frequenti inclusi clacarei: si tratta della tipica facies di alterazione della roccia calcarea fratturata, nella quale i processi di dissoluzione chimica del cemento carbonatico determinano un progressivo disfacimento della roccia, che lascia il posto ad un litotipo residuale terroso, a matrice prevalentemente argillosa, fortemente arricchita in ferro, il quale tende ad ossidarsi dando il caratteristico colore rosso mattone. Il comportamento è

prevalentemente coerente, per via della matrice argillosa, che però lega e trattiene solo in parte i frequenti livelli clastici, i quali si presentano invece fortemente attritivi.

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, litologicamente omogenee, da letteratura, oltre dalle verifiche puntuali (osservazioni litologiche) svolte sui luoghi. I valori di N/SPT (indice di portanza standard per la resistenza del terreno correlabile con la formula di "Parry – $30\text{NSPT}/3$ " in daN/cm^2) risultano a seconda dello stato di addensamento e/o consistenza dei materiali, variabili legati soprattutto alla presenza di alterazioni (disfacimento) rossastre. I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante, a partire dalla copertura di suolo di minimo spessore, entro il metro, oltre una parte di calcari organogeni bioclastici diversamente alterati, ad esclusione delle calcareniti ad elevata componente terrigena, talora in sottili lamine limoso-argillose, lapidee, ma spesso estremamente friabili, passano con frequenza a livelli bioclastici più massivi e compatti, talora debolmente cariati con tracce di argille residuali.

Unità A → Terreno di copertura sabbioso debolmente ghiaioso con presenta di frazione fine che lo rende debolmente coerente, scarsamente addensato e mediamente compressibile. Il colore è variabile dal grigio-avana al bruno rossiccio.

Peso di volume naturale (γ_n)	16,65KN/M ³
Peso di volume saturo (γ_w)	17,80 KN/m ³
Angolo di attrito interno (ϕ)	25° ± 2 (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	9.80 kN/m ²
Modulo Edometrico (M)	5462,30 kN/m ² (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	3138,12 kN/m ² (Webb)
Coefficiente di Winkler [$Q = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$]	1.2 Kg/cm ³
N/SPT	5
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	0.49 daN/cm ²
Caratteristiche strato	moderatamente addensato

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 5

Unità B → Carbonati: Alternanze decimetriche di clasti di calcare organogeno biancastro, compatti e lapidei, e livelli di sabbie limose argillose con incrostazioni carbonatiche, mediamente consistente e compatta, con frequenti inclusi calcarei. Colore variabile da grigio biancastro a avana ocraceo.

Peso di volume naturale (γ_n)	19,50 KN/M ³
--	-------------------------

Relazione geologica e geotecnica

Peso di volume saturo (γ_w)	20,01 kN/m ³
Angolo di attrito interno (φ)	28° ± 2 (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	29.41 kN/m ²
Modulo Edometrico (M)	29321,88 kN/m ² (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	37559,46 kN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [$Q = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$]	3.22 Kg/cm ³
N/SPT	≥ 25
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	≥ 1.96 daN/cm ²
NTC 2018 Meyerhof and Hanna (1978)	[Qult] 1154.21 kN/m ² ÷ Resistenza di progetto [Rd] 501.83 kN/m ²
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato/duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 25

2.1 - 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 A1+M1+R1;
- 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 A2+M2+R2;

Il secondo metodo si basa su di una combinazione unica, che considera sia gli Stati Limite Ultimi strutturali che geotecnici, definita da A1+M1+R3.

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.I. 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 $X_k/\gamma M$ 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.II 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 posa): la verifica è stata svolta per un palo del diametro massimo di 20 cm, con incastro di punta a -2.0m da p.c..

DATI GENERALI

=====

Normativa	NTC 2018
Diametro della fondazione	0,2 m
Profondità piano di posa	2,0 m

=====

SISMA

=====

Accelerazione massima (amax/g)	0,02
Effetto sismico secondo	Paolucci e Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0,0004

=====

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:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.0181	2.6325	0.1699
S.L.D.	35.0	0.0191	2.6309	0.1751
S.L.V.	332.0	0.0364	2.7627	0.2764
S.L.C.	682.0	0.0429	2.8012	0.306

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.0217	0.2	0.0004	0.0002
S.L.D.	0.0229	0.2	0.0005	0.0002
S.L.V.	0.0437	0.2	0.0009	0.0004
S.L.C.	0.0515	0.2	0.001	0.0005

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore e strato [m]	Peso unità di volume [kN/m ³]	Peso unità di volume saturo [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
1.0	16.65	17.8	25.0	9.81	9.81	3138.12	5462.3	0.3	0.0
5.0	19.5	20.01	30.0	9.81	29.41	37559.46	29321.88	0.35	0.0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazio ne	Pressione normale di progetto [kN/m ²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	98,06	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	Progetto
3	S.L.E.	98,06	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	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. Capacit 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: Meyerhof and Hanna (1978)**

- Carico limite [Qult] 1154.21 kN/m²
- Resistenza di progetto [Rd] 501.83 kN/m²
- Tensione [Ed] 384.74 kN/m² (*ipotesi di verifica cedimenti 98,06 KN/m²*)
- Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,0

Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)

===== A1 + M1 + R3

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 18.4

Fattore [Nc] 30.14

Fattore [Ng] 4.66

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1.0

Fattore [Nc] 5.14

Carico limite strato 2 (qb) 117.0 kN/m²Carico limite strato 1 (qt) 1154.21 kN/m²Incremento carico limite strato 1 2067.64 kN/m²

Coefficiente di punzonamento (ks) 0.93

Rapporto (q1/q2) 0.0

=====

Carico limite 1154.21 kN/m²Resistenza di progetto 501.83 kN/m²**Autore: Meyerhof and Hanna (1978) (Condizione drenata)**===== **SISMA**

Strato 1 sopra, strato 2 sotto

Fattori di capacità portante strato 1

Fattore [Nq] 18.4

Fattore [Nc] 30.14

Fattore [Ng] 4.66

Fattori di capacità portante strato 2

Fattore [Nq] 1.0

Fattore [Nc] 5.14

Carico limite strato 2 (qb)	117.0 kN/m ²
Carico limite strato 1 (qt)	1154.21 kN/m ²
Incremento carico limite strato 1	2067.64 kN/m ²
Coefficiente di punzonamento (ks)	0.93
Rapporto (q1/q2)	0.0

Carico limite	1154.21 kN/m ²
Resistenza di progetto	641.23 kN/m ²

2.1.1 - CEDIMENTI

CEDIMENTI PER OGNI STRATO

*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi

Pressione normale di progetto	98.06 kN/m ²
Cedimento dopo T anni	7.0
Distanza	0.08 m
Angolo	53.22 °
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	4	75.15	0.293	Edometrico	0.004	--	0.004

CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	98,06 kN/m ² (ipotesi di verifica)
Cedimento al centro della fondazione	0,17 mm
Cedimento al bordo	0,08 mm

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

Livello non liquefacibile

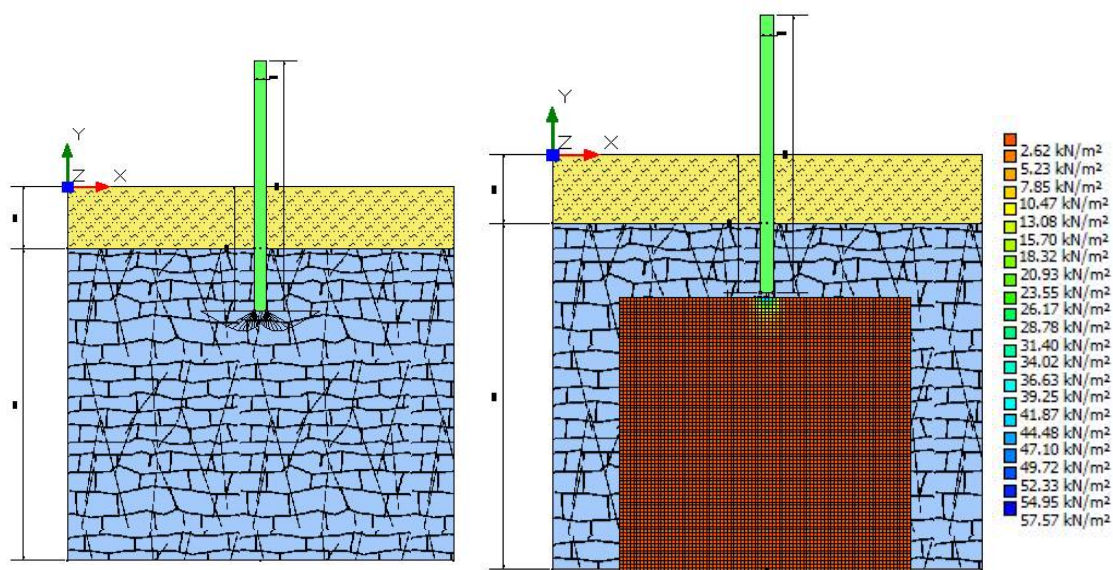


Figura 12 – Cuneo di intrusione / Bulbo delle pressioni

2.2 – Considerazioni sulla scavabilità e tenuta dei fronti di scavo

L'area sensibile, su cui è inserito il progetto, per la sua posizione topografica e/o morfologica non ha dimostrato una particolare predisposizione all'allagamento e si colloca perciò in una zona, pressoché, priva di rischi idraulici. L'analisi dei luoghi conferma una situazione geomorfologica locale stabile, una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente carbonatico. Allo stesso è associata la minima presenza di una copertura quaternaria a giacitura orizzontale e omogenea di materiale detritico alluvionale e/o eluvio-colluviale, costituito essenzialmente da livelli derivati dalla stessa alterazione del substrato. In funzione di quanto sopra esposto, i terreni vista la minima profondità di escavazione saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su "palo infisso", evidenziando che non si dovrà escludere l'uso di un apposito martellone per quelle parti di substrato di natura carbonatica in affioramento a bassa profondità diversamente alterata e fratturata. Nota: in presenza di materiali consistenti 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 Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo in matrice fine coesiva, e contestualmente al substrato oligo miocenico carbonatico, 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 $FS = \tan \varphi / \tan \beta$, 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 detritiche Oloceniche un $\varphi = 25^\circ \pm 2$ e il substrato $\varphi = 28^\circ \pm 2$ per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un'inclinazione della parete di scavo min. di circa $25/28^\circ$. 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 B](#)) $\rightarrow c_u = 29.41 \text{ KN/m}^2$ - $\gamma_n = 19.50 \text{ KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 c / \gamma_n$ si ottiene un'altezza critica di scavo $H_c = \sim 6.0 \text{ m}$. 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 $y = Hc/2 \rightarrow \mathbf{Hc'} = \sim 3.0m$

Si consiglia, comunque, in presenza di materiali superficiali 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, se presente, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico al contatto tra la copertura e il substrato carbonatico.

3. CONCLUSIONI

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

- Gli interventi in progetto, sono ricompresi in un'area lorda di 8.6Ha, all'interno dei confini amministrativi del Comune di Sassari. Litologicamente è interessato da terreni con substrato sedimentario carbonatico Oligo Miocenico appartenente alla Litofacies nella Formazione di Mores (RESa): biocalcareni e calcari bioclastici a banchi di ostree ed altri bivalvi, ed echinidi. Alternanze decimetriche di clasti di calcare organogeno biancastro, compatti e lapidei, e livelli di argilla limosa rubefatta, mediamente consistente e compatta, con frequenti inclusi calcarei. 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 sabbiosi alluvionali, a grana medio grossa, conglomeratici nelle parti cementate, in matrice fine coesiva diversamente distribuita. Le tipologie di terreni descritti in relazione sono stati raggruppati secondo il seguente criterio geomeccanico:
 - **Unità B** → Carbonati: Alternanze decimetriche di clasti di calcare organogeno biancastro, compatti e lapidei, e livelli di sabbie limose argillose con incrostazioni carbonatiche, mediamente consistente e compatta, con frequenti inclusi calcarei. Colore variabile da grigio biancastro a avana ocraceo;
 - **Unità A** → Terreno di copertura sabbioso debolmente ghiaioso con presenta di frazione fine che lo rende debolmente coerente, scarsamente addensato e mediamente compressibile. Il colore è variabile dal grigio-avana al bruno rossiccio.
- 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.
- Geologicamente nell'area sensibile affiorano rocce della serie marina miocenica rappresentati dalla litofacies nella Formazione di Mores, sovrastanti livelli di marne, marne argillose e marne calcaree ("Marne di Borutta"), che talvolta s'intercalano agli stessi calcari organogeni, oltre le parti delle coperture sedimentarie quaternarie recenti.

I terreni rilevati, in base alle caratteristiche geolitologiche, con particolare riferimento alla capacità d'assorbimento possono essere suddivisi in 3 classi di permeabilità:

Classe 1 → medio - alta permeabilità, localmente medio - bassa ⇒ [Alluvioni recenti e/o detritici eluvio colluviali dell'Olocene] Si tratta di terreni a circolazione idrica discreta, costituiti prevalentemente da coperture alluvionali allo stato sciolto o semicoerente. La permeabilità per porosità è generalmente medio-alta in corrispondenza di livelli ciottoloso-sabbiosi in prossimità degli alvei dei corsi d'acqua, localmente medio-bassa in corrispondenza dei livelli fini ben costipati e/o cementati delle alluvioni terrazzate [$10^{-2} \geq K \geq 10^{-5}$].

Classe 2 → Permeabilità medio-alta per fessurazione: comprende la Litofacies di Mores caratterizzati da calcari bioclastici, calcari arenacei e calcareniti con permeabilità medio-alta per fessurazione e carsismo, localmente medio-bassa [$10^{-2} > K > 10^{-5}$];

Classe 3 → Permeabilità da bassa a impermeabile: comprende le marne, marne argillose, marne arenacee della "Formazione di Borutta" (Langhiano). Questi sedimenti presentano scarsa permeabilità per porosità e per fessurazione e, spesso costituiscono il letto su cui si accumulano le acque che s'infiltrano nelle bancate calcaree sovrastanti dando così origine a falde sotterranee medio-profonde, [$10^{-9} \geq K$].

L'assetto idrogeologico locale individuato non consente l'instaurarsi nell'area indicata per il posizionamento dell'impianto, di acquiferi superficiali a falda libera che possano interferire con l'opera in progetto. La disamina del portale del Servizio Geologico d'Italia per la consultazione dei dati tecnici relativi alle indagini nel sottosuolo trasmessi ai sensi della legge 464/84 e fruibili tramite il Portale del Servizio Geologico d'Italia (<http://portalesgi.isprambiente.it/it>), ha evidenziato falde superficiali nell'areale sensibile a partire da circa -3.0m da p.c..

- Il Comune di Sassari è ricompreso all'interno del U.I.O del Mannu di Porto Torres così come individuato dal P.A.I. Sardegna e dal P.S.F.F. Sardegna. Nella fattispecie il sito oggetto di intervento ricade nella cartografia attualmente disponibile on-line e consultabile tramite la piattaforma "Sardegna Geoportale" (sulla base di quanto disposto dalla normativa P.A.I per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna "Allegato E/F" (criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica e geologica-geotecnica di cui agli articoli 24/25 delle norme di attuazione del PAI Titolo III cap. I/II/III), in un'area con assenza sia di pericolosità idraulica Hi (Art. 8 - Rev. 41) sia di pericolosità geomorfologia (Rev. 42). Da una analisi del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) relativo al bacino del Mannu di Porto Torres, non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con i corsi d'acqua in funzione della sicurezza idraulica. Da una analisi dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna

(IFFI) relativo al bacino del Mannu di Porto Torres, nell'area non sono emersi per l'area esaminata rischi compatibili con eventi franosi.

- 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:

 - a_g - 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 a_g , 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. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. 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 la profondità del substrato è stata riferita al piano di imposta delle stesse: secondo lo schema presente nell'Ordinanza (NTC 2018) si tratta di un suolo appartenente alla Classe B.

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

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
----------	--

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 $i > 30^\circ$

Tab. 2.4.I.

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

Tab. 2.4.I.

	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 sull'area SENSIBILE:

X = 1451575.3400 longitudine **E**

Y = 4513827.1430 latitudine **N**

Dati sulla costruzione:

Classe d'uso: I (presenza occasionale di persone)

Vita Nominale: 50 anni

Coefficiente d'uso: 0.700000

Vita di riferimento: 35.000000 anni

SLE (N.T.C 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLO**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.810000 (**SLO**) Periodo di ritorno: 30.00 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0181$
 $g \rightarrow Fo = 2.6325 \rightarrow Tc^* = 0.1699 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLD**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.630000 (**SLD**) Periodo di ritorno: 35.20 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0191$
 $g \rightarrow Fo = 2.6309 \rightarrow Tc^* = 0.1751 \text{ sec}$

SLU (N.T.C 2018)

- Dati sulla costruzione (**SLV**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (**SLV**) Periodo di ritorno: 332.19 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0364$
 $g \rightarrow Fo = 2.7627 \rightarrow Tc^* = 0.2764 \text{ sec}$
- Dati sulla costruzione (**SLC**) Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.050000 (**SLC**) Periodo di ritorno: 682.35 (anni): Valori finali calcolati: $ag = 0.0429$
 $g \rightarrow Fo = 2.8012 \rightarrow Tc^* = 0.3060 \text{ sec}$

- Considerazioni geotecniche preliminari: L'analisi dell'area sensibile conferma una situazione geomorfologica locale stabile, essendo il progetto ubicato in una zona sub pianeggiante leggermente degradante da NNE verso SSW, e una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente carbonatico miocenico. 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 sabbiosi alluvionali, a grana medio grossa, 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 del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta massimo a -2.0m da p.c.. Nel nostro caso, ci si potrà attestare con lo scavo per la realizzazione delle fondazioni su palo infisso, sempre all'interno di una stessa litologia detritica (b2), per la minima profondità di infissione, oltre una (probabile) parte nei carbonati inizialmente alterati che costituiscono il

substrato della zona. 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, litologicamente omogenee, da letteratura, oltre dalle verifiche puntuali (osservazioni litologiche) svolte sui luoghi. I valori di N/SPT (indice di portanza standard per la resistenza del terreno correlabile con la formula di "Parry – $30\text{N/SPT}/3$ " in daN/cm^2) risultano a seconda dello stato di addensamento e/o consistenza dei materiali, variabili legati soprattutto alla presenza di alterazioni (disfacimento) rossastre. I parametri geotecnici dell'unità litostratigrafica che insiste al piano di fondazione sono indicati nella tabella sottostante, a partire dalla copertura di suolo di minimo spessore, entro il metro, oltre una parte di calcari organogeni bioclastici diversamente alterati, ad esclusione delle calcareniti ad elevata componente terrigena, talora in sottili lamine limoso-argillose, lapidee, ma spesso estremamente friabili, passano con frequenza a livelli bioclastici più massivi e compatti, talora debolmente cariati con tracce di argille residuali.

Unità A → Terreno di copertura sabbioso debolmente ghiaioso con presenza di frazione fine che lo rende debolmente coerente, scarsamente addensato e mediamente compressibile. Il colore è variabile dal grigio-avana al bruno rossiccio.

Peso di volume naturale (γ_n)	16,65 KN/M^3
Peso di volume saturo (γ_w)	17,80 KN/m^3
Angolo di attrito interno (φ)	$25^\circ \pm 2$ (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	9.80 kN/m^2
Modulo Edometrico (M)	5462,30 kN/m^2 (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	3138,12 kN/m^2 (Webb)
Coefficiente di Winkler [$Q = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$]	1.2 Kg/cm^3
N/SPT	5
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	0.49 daN/cm^2
Caratteristiche strato	moderatamente addensato

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 5

Unità B → Carbonati: Alternanze decimetriche di clasti di calcare organogeno biancastro, compatti e lapidei, e livelli di sabbie limose argillose con incrostazioni carbonatiche, mediamente consistente e compatta, con frequenti inclusi calcarei. Colore variabile da grigio biancastro a avana ocreo.

Peso di volume naturale (γ_n)	19,50 KN/M^3
Peso di volume saturo (γ_w)	20,01 KN/m^3
Angolo di attrito interno (φ)	$28^\circ \pm 2$ (Japanese National Railway)
Coesione n.d.	29.41 kN/m^2

Modulo Edometrico (M)	29321,88 kN/m ² (Menzebach e Malcev)
Modulo Elastico (E)	37559,46 kN/m ² (D'Appolonia et Alii.)
Coefficiente di Winkler [Q = 1.0 Kg/cm ²]	3.22 Kg/cm ³
N/SPT	≥ 25
Resistenza del terreno da SPT (Parry)	≥ 1.96 daN/cm ²
NTC 2018 Meyerhof and Hanna (1978)	[Qult] 1154.21 kN/m ² ÷ Resistenza di progetto [Rd] 501.83 kN/m ²
Caratteristiche strato	addensato – molto addensato/duro

Nota: i parametri geotecnici sono stati calcolati con un valore medio di N/SPT di 25

- 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 posa): la verifica è stata svolta per un palo del diametro massimo di 20cm, con incastro di punta a -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 - Meyerhof and Hanna (1978) – condizione non drenata Il valore minimo del carico limite ultimo Qult = 1154.21 kN/m², con una resistenza di progetto (Rd) = 501.83 KN/m², ed una Tensione (Ed) = 384.74 kN/m² (ipotesi di verifica cedimenti 98,06 KN/m²);
 - I cedimenti Elastici relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro (centro 0,17mm / bordo 0,08mm), in corrispondenza di una pressione normale di progetto pari a 98,06 KN/m² (ipotesi di verifica).
 - Cedimenti per ogni strato relativi al substrato di terreno interessato dal sovraccarico, si attesterebbero a valori inferiori al centimetro per lo strato 2 interessato all'intestamento (0.004 mm), 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 calpestio - Metodo del C.N.R. - GNDT Da Seed e Idriss
- L'area sensibile, su cui è inserito il progetto, per la sua posizione topografica e/o morfologica non ha dimostrato una particolare predisposizione all'allagamento e si colloca perciò in una zona, pressoché, priva di rischi idraulici. L'analisi dei luoghi conferma una situazione geomorfologica locale stabile, una condizione litologica e geostrutturale piuttosto definita con

ottima caratterizzazione meccanica del substrato essenzialmente carbonatico. Allo stesso è associata la minima presenza di una copertura quaternaria a giacitura orizzontale e omogenea di materiale detritico alluvionale e/o eluvio-colluviale, costituito essenzialmente da livelli derivati dalla stessa alterazione del substrato. In funzione di quanto sopra esposto, i terreni vista la minima profondità di escavazione saranno facilmente asportabili con il semplice uso di un escavatore dotato di singola benna nei livelli più superficiali interessati dalla posa di una eventuale fondazione su “palo infisso”, evidenziando che non si dovrà escludere l’uso di un apposito martellone per quelle parti di substrato di natura carbonatica in affioramento a bassa profondità diversamente alterata e fratturata. Nota: in presenza di materiali consistenti 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 Olocenici diversamente addensati, essendo materiali a comportamento attrattivo in matrice fine coesiva, e contestualmente al substrato oligo miocenico carbonatico, è legata indipendentemente dall’altezza dello scavo al valore dell’angolo di attrito interno del materiale. Nel nostro caso, avendo le coperture Quaternarie detritiche Oloceniche un $\varphi = 25^\circ \pm 2$ e il substrato $\varphi = 28^\circ \pm 2$ per lavorare in condizioni di sicurezza, si potrà tener conto di un’inclinazione della parete di scavo min. di circa $25/28^\circ$. 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 (riducibili ad un unico livello B) $\rightarrow c_u = 29.41 \text{ KN/m}^2$ - $\gamma_n = 19.50 \text{ KN/m}^3$ e utilizzando la seguente relazione: $H_c = 4 c/\gamma_n$ si ottiene un’altezza critica di scavo $H_c = \sim 6.0 \text{ m}$. 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 (H_c) (Terzaghi) risulta ridotto per $y = H_c/2 \rightarrow H_c' = \sim 3.0 \text{ m}$

Si consiglia, comunque, in presenza di materiali superficiali 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

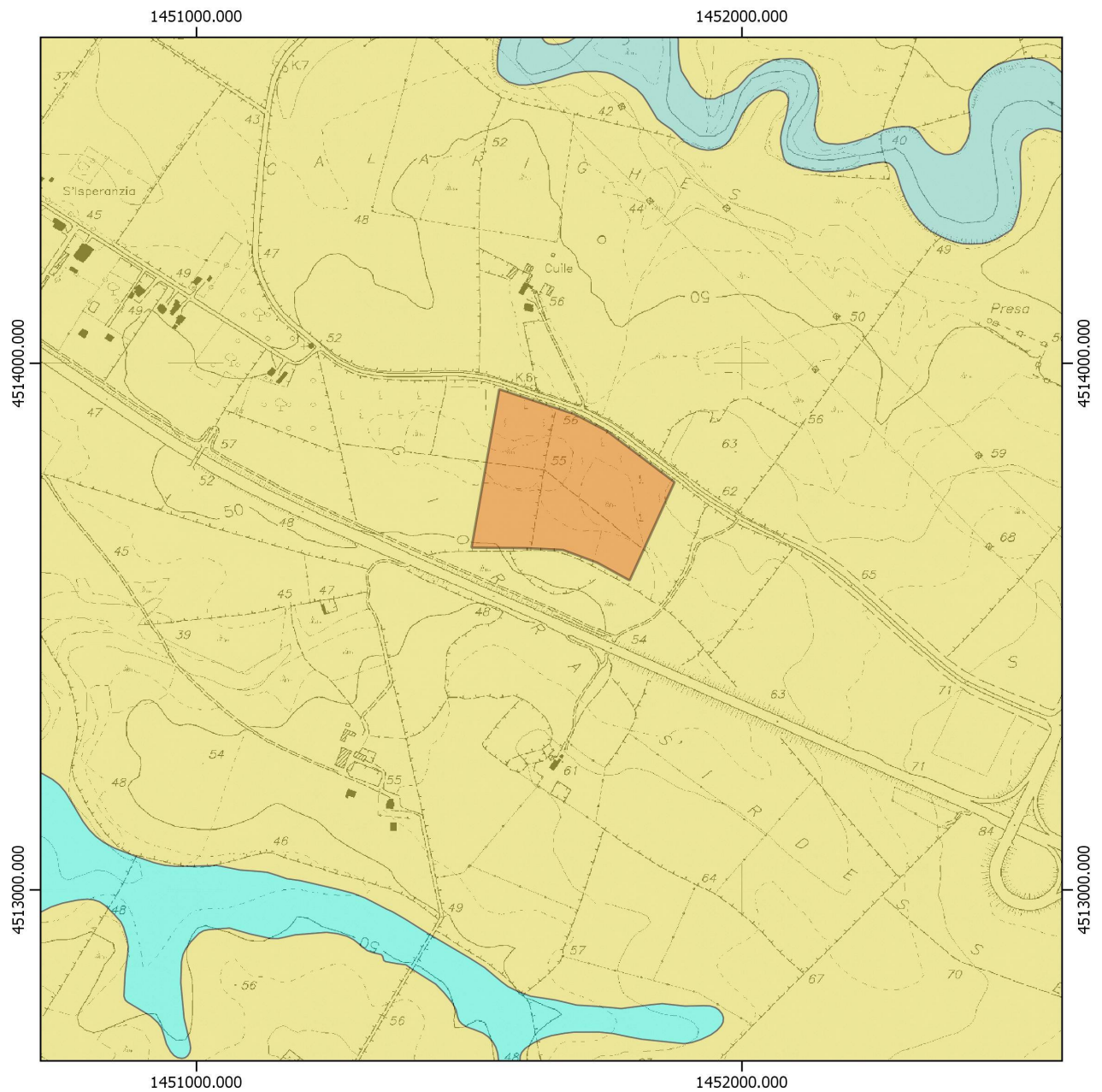
pluviometrici importanti, sarà opportuno predisporre degli adeguati sistemi di allontanamento sia delle acque superficiali dal fondo dello scavo, se presente, sia da quelle (eventuali) di debole falda idrica se risalita per incremento idrico al contatto tra la copertura e il substrato carbonatico.


- 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 "Impianto Fotovoltaico su strutture fisse su pali";
 - 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.

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 459 - 020 [OTTAVA]
SCALA 1:10.000




 Truncu reale 1.kmz

geologiaAreali2008

 Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine. OLOCENE

 Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE

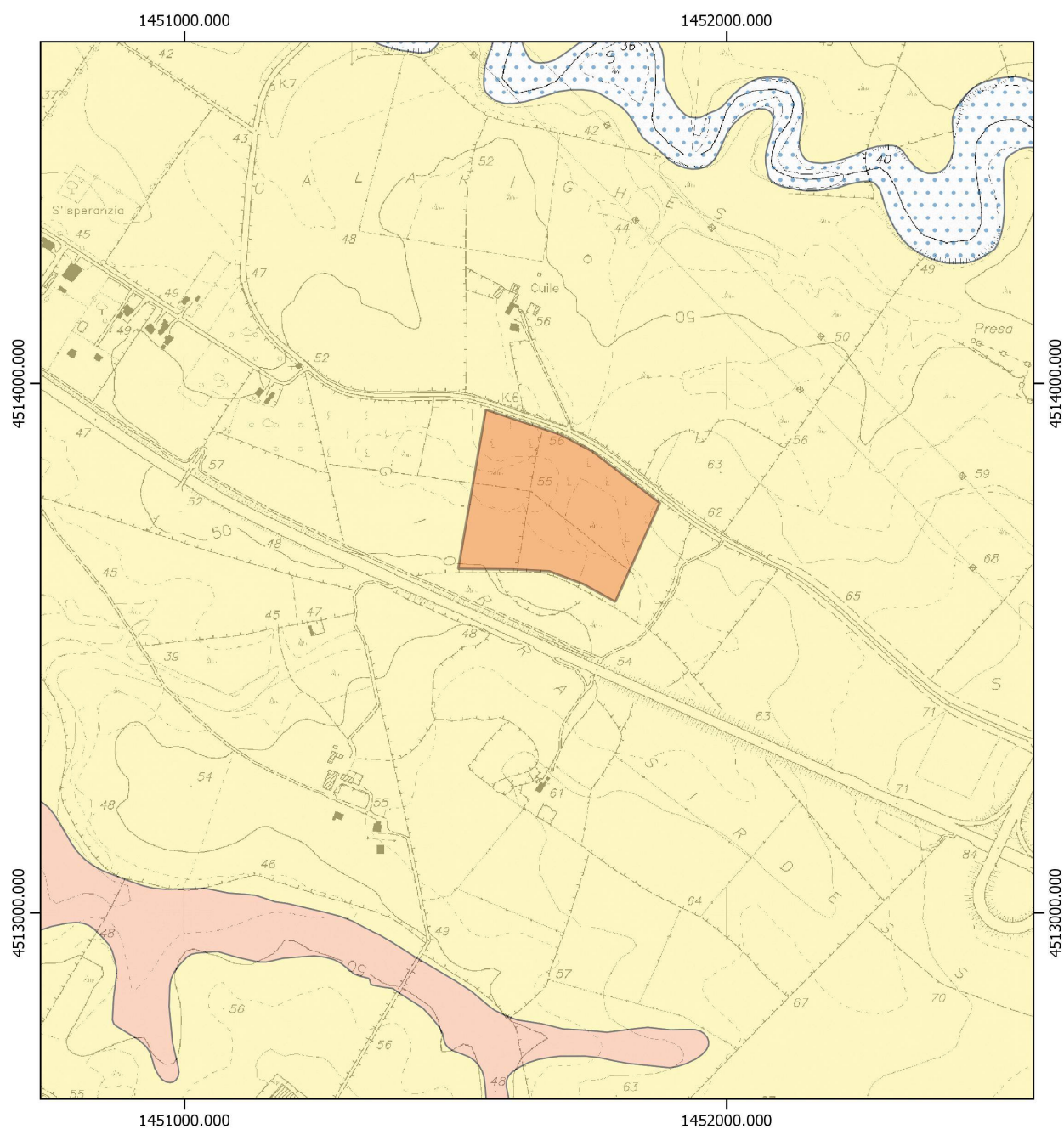
 Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareni, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile



0 500 1000 m



CARTA PERMEABILITA'
SU BASE CTR FOGLIO 459 - 020 [OTTAVA]
SCALA 1:10.000



Truncu reale 1.kmz

carta_permeabilita_2019

AP - Permeabilità alta per porosità

MACF

MAP - Permeabilità medio alta per porosità



0 500 1000 m