



LUGLIO 2023

FLYNIS PV 42 S.r.l.

IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO
COLLEGATO ALLA RTN

POTENZA NOMINALE 56,55 MW
COMUNE DI CARBONIA (CI)

Montano

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO Relazione Geologica e Geotecnica

Progettisti (o coordinamento)

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Codice elaborato

2983_5376_CA_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica e geotecnica



Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2983_5376_CA_VIA_R05_Rev0_Relazione geologica e geotecnica	07/2023	Prima emissione	G. Carboni	Mcu	L.Conti

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Direzione Tecnica	Ordine Ing. Pavia 1726
Corrado Pluchino	Responsabile Tecnico Operativo	Ord. Ing. Milano A27174
Riccardo Festante	Progettazione Elettrica, Rumore e Comunicazioni	Tecnico acustico/ambientale n. 71
Marco Corrù	Project Manager	
Paola Scaccabarozzi	Ingegnere Idraulico	
Giulia Peirano	Architetto	Ordine Arch. Milano n. 20208
Fabio Lassini	Ingegnere Idraulico	Ordine Ing. Milano A29719
Mauro Aires	Ingegnere strutturista	Ordine Ing. Torino 9583J
Andrea Delussu	Ingegnere Elettrico	
Corrado Landi	Ingegnere Ambientale	
Carolina Ferraro	Ingegnere idraulico	
Luca Morelli	Ingegnere Ambientale	
Matteo Cuda	Naturalista	
Graziella Cusmano	Architetto	
Matthew Piscedda	Perito Elettrotecnico	

Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156
Cap. Soc. 600.000,00 €

www.montanambiente.com





Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Annovazzi Lodi	Ingegnere Ambientale	
Daniele Moncecchi	Ingegnere Ambientale	
Raffaella Bertolini	Biologo Ambientale	
Carla Marcis	Ingegnere per l'Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica	Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200
Andrea Mastio	Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio	
Leonardo Cuscito	Perito Agrario laureato	Periti Agrari della provincia di Bari, n° 1371
Eliana Santoro	Agronomo	Agronomo albo n.883 dottori agronomi e forestali provincia di Torino
Emanuela Gaia Forni	Dott.ssa Scienze e Tecnologie Agrarie	
Edoardo Bronzini	Agronomo	Albo n.1026 Dottori Agronomi e Forestali Provincia di Torino
Chiara Caltagirone	Dott.ssa Scienze e Tecnologie Agrarie	
Giancarlo Carboni	Geologo	
Rosana Pla Orquin	Professionista Archeologo I Fascia	
Luca Doro	Professionista Archeologo I Fascia	
Gabriele Carenti	Professionista Archeologo I Fascia	

Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156

Cap. Soc. 600.000,00 €

www.montanambiente.com





INDICE

1. PREMESSA	6
1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO	6
1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	11
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	12
2.1 GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA VASTA	12
2.2 DESCRIZIONE LITO – STRATIGRAFICA	12
2.3 GEOLOGIA LOCALE.....	15
2.4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	16
2.5 IDROGEOLOGIA	17
2.6 IDROGRAFIA LOCALE.....	17
2.7 IDROLOGIA LOCALE	18
2.7.1 Unità Idrogeologiche	18
2.8 PERICOLO GEOLOGICO	19
3. TETTONICA	21
4. RISPOSTA SISMICA	22
4.1 SISMICITA' STORICA.....	22
4.1.1 Tracce di paleosismicità.....	23
4.1.2 Sismicità Storica	23
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMAGNETICA.....	27
4.3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	28
4.4 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	29
4.4.1 Parametrizzazione sismica e Azione sismica	31
5. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	33
5.1 CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA PROVE PENETROMETRICHE	33
5.1.1 Note Illustrative	33
5.1.2 Metodologia di Elaborazione	34
5.1.3 Interpretazione dei dati.....	35
5.1.4 Ubicazione punti di indagine DIN.....	36
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	40
6.1 CORRELAZIONE GEOTECNICA TERRENI INCOERENTI.....	40
6.2 CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI	41
6.3 SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI.....	42
6.4 CARATTERISTICHE DELLO STRUMENTO	42
6.4.1 PROVA DIN1	43
6.4.2 PROVA DIN 2	46
6.4.3 PROVA DIN 3	48
6.4.4 PROVA DIN 4	50
6.4.5 PROVA.DIN 5	52
6.5 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	54
6.6 STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	54
6.7 STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA	55



6.8	PIANI DI INDAGINE PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA.....	55
7.	CONCLUSIONI	58

ELABORATI GRAFICI

TAVOLA 01 Corografia generale

TAVOLA 02 Estratto di mappa catastale

TAVOLA 03 Planimetria piano di posa rifiuti – Progetto Autorizzato

ALLEGATO/APPENDICE

ALLEGATO 01 Codici CER autorizzati in impianto e deroghe rilasciate ai sensi del dell'art.7 del Decreto del 03/08/2005, tabella 5

ALLEGATO 02 Relazione geologica, idrogeologica e geotecnica



1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo FLYNIS PV 42 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a ovest del territorio comunale di Carbonia (CI) di potenza pari a 56,55 MW su un'area catastale di circa 155,03 ettari complessivi di cui circa 87,61 ha recintati.

FLYNIS PV 42 S.r.l., è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Milano (MI). Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il progetto in esame è in linea con quanto previsto dal: "Pacchetto per l'energia pulita (Clean Energy Package)" presentato dalla Commissione europea nel novembre 2016 contenente gli obiettivi al 2030 in materia di emissioni di gas serra, fonti rinnovabili ed efficienza energetica e da quanto previsto dal Decreto 10 novembre 2017 di approvazione della Strategia energetica nazionale emanato dal Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo infisso nel terreno.

Le strutture saranno posizionate in maniera da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno, i pali di sostegno delle strutture tracker sono posizionati distanti tra loro di 12 metri. Tali distanze sono state applicate per consentire la coltivazione e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Saranno utilizzate due tipologie di strutture composte rispettivamente da 28 (tipo 1) e 14 (tipo 2) moduli.

Inoltre, all'interno di una sezione dell'impianto, è prevista l'installazione di un sistema di batterie di accumulo (BESS) pari a 25 MW per 4 ore.

I terreni non occupati dalle strutture dell'impianto continueranno ad essere adibiti ad uso agricolo; in particolare è prevista, per una porzione dell'impianto pari a 10,94 ha, la piantumazione e coltivazione di mandorleti (secondo il modello superintensivo), e per la restante porzione, pari a 76,68 ha, verranno piantumate e coltivate le specie foraggere annuali destinate allo sfalcio e alla fienagione.

Il progetto rispetta i requisiti riportati all'interno delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" in quanto la superficie minima per l'attività agricola è pari al 77,7% mentre la LAOR (percentuale di superficie ricoperta dai moduli) è pari al 36,3%.

La corrente elettrica prodotta dai moduli fotovoltaici sarà convertita e trasformata tramite l'installazione di 15 Power Station. Infine, l'impianto fotovoltaico sarà allacciato, con soluzione in cavo interrato di lunghezza pari a circa 8,60 km, in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione RTN 220/36 kV da inserire in entrata-uscita alla linea RTN 220 kV "Sulcis-Oristano"

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica e Geotecnica preliminare.

1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL SITO

Il parco fotovoltaico in progetto si estende nel territorio comunale di Carbonia, nella provincia del Sud Sardegna (SS), in un territorio con morfologia leggermente ondulata in cui sono state eseguite opere di rimboschimento con eucaliptus e con buona presenza di vegetazione a macchia e gariga.

L'area in esame è localizzata presso il comune di Carbonia (SU). L'area è compresa nella tavoletta I.G.M.

1:50.000 – Foglio n° 564 "Carbonia", nella tavoletta I.G.M. in scala 1:25.000 n° 442 Sez. III "Sedini" e nel Foglio 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale Numerica della Sardegna n° 442 100 e 140.

Cartografia: **I.G.M. 1:50.000 – Foglio n° 564 "CARBONIA".**

I.G.M. 1:25.000 – Tavoletta n° 564 Sez. IV “CALASETTA”.

C.T.R. 1:10.000 – Sezione n° 546 020.

Quota max m.s.l.m.: **81 m.**

Quota min m.s.l.m. **52 m.**

L'impianto fotovoltaico con potenza nominale di picco pari a 56,55 MW è così costituito da:

- n.1 Cabina di Connessione. La Cabina di Connessione dell'impianto, a livello di tensione pari a 36 kV, sarà posizionata in adiacenza alla nuova SE di Trasformazione di Terna di riferimento. All'interno della cabina saranno presenti i dispositivi generali DG, di interfaccia DDI e gli apparati SCADA e telecontrollo;
- n.1 Cabina di Raccolta. Tale cabina è presente all'interno dell'impianto fotovoltaico, sezione Sx, ed è il punto di partenza della connessione verso la Cabina di Connessione. La Cabina di Raccolta ha la funzione di raccogliere le terne provenienti dalle cabine di Smistamento, presenti nel campo fotovoltaico, per immetterne un numero inferiore. Nella stessa area all'interno della cabina sarà presente il quadro QMT1 contenente i dispositivi generali DG di interfaccia DDI e gli apparati SCADA e telecontrollo;
- n.1 Cabine di Smistamento di connessione. Le Cabine di Smistamento hanno la funzione di raccogliere le terne provenienti dalle Power Station, presenti nei vari sottocampi, per immetterne un numero inferiore verso la Cabina di Raccolta. La cabina sarà posizionata in maniera strategica all'interno dell'impianto;
- n. 15 Power Station (PS). Le Cabine di Campo (Power Station) avranno la duplice funzione di convertire l'energia elettrica da corrente continua a corrente alternata ed elevare la tensione da bassa a media tensione; esse saranno collegate tra di loro in configurazione radiale e in posizione più possibile baricentrica rispetto ai sottocampi fotovoltaici in cui saranno convogliati i cavi provenienti dalle String Box che a loro volta raccoglieranno i cavi provenienti dai raggruppamenti delle stringhe dei moduli fotovoltaici collegati in serie;
- n.9 Uffici e n.9 Magazzini ad uso del personale, installati in coppie (ufficio + magazzino) in ogni sezione dell'impianto fatta eccezione per le sezioni S1, S2, S4, S7, S11 e S15;
- i moduli fotovoltaici saranno installati su apposite strutture metalliche di sostegno tipo tracker fondate su pali infissi nel terreno;
- L'impianto è completato da:
 - tutte le infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza generata dall'impianto e dalla sua consegna alla rete di distribuzione nazionale;
 - opere accessorie, quali: impianti di illuminazione, videosorveglianza, monitoraggio, cancelli e recinzioni;
 - intervento agronomico;
 - opere a verde di mitigazione.

L'impianto dovrà essere in grado di alimentare dalla rete tutti i carichi rilevanti (ad esempio: quadri di alimentazione, illuminazione). Inoltre, in mancanza di alimentazione dalla rete, tutti i carichi di emergenza verranno alimentati da un generatore temporaneo di emergenza, che si ipotizza possa essere rappresentato da un generatore diesel.

Di seguito si riporta la descrizione dei principali componenti d'impianto; per dati di tecnici maggior dettaglio si rimanda alle relazioni e agli elaborati dedicati.

L'immagine seguente mostra la localizzazione delle opere già menzionate:

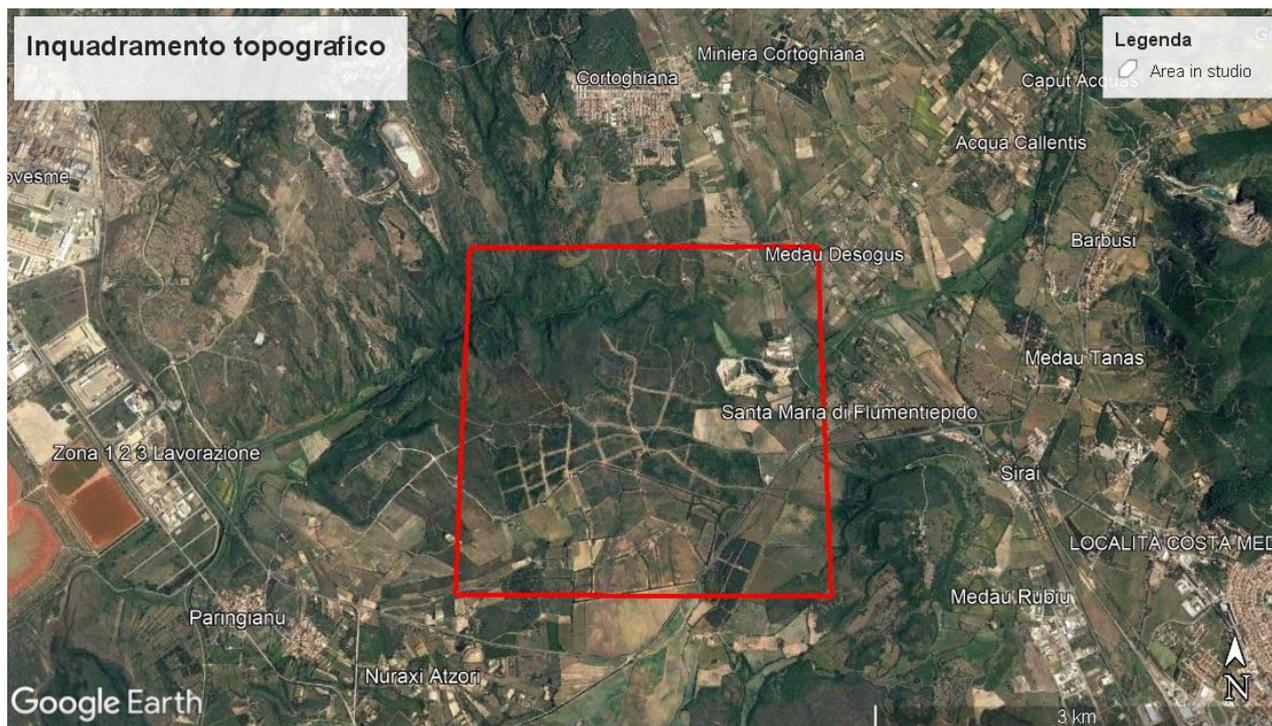


Figura 1.1: Inquadramento topografico su ortofoto aerea. In rosso l'area della abitazione oggetto di studio.

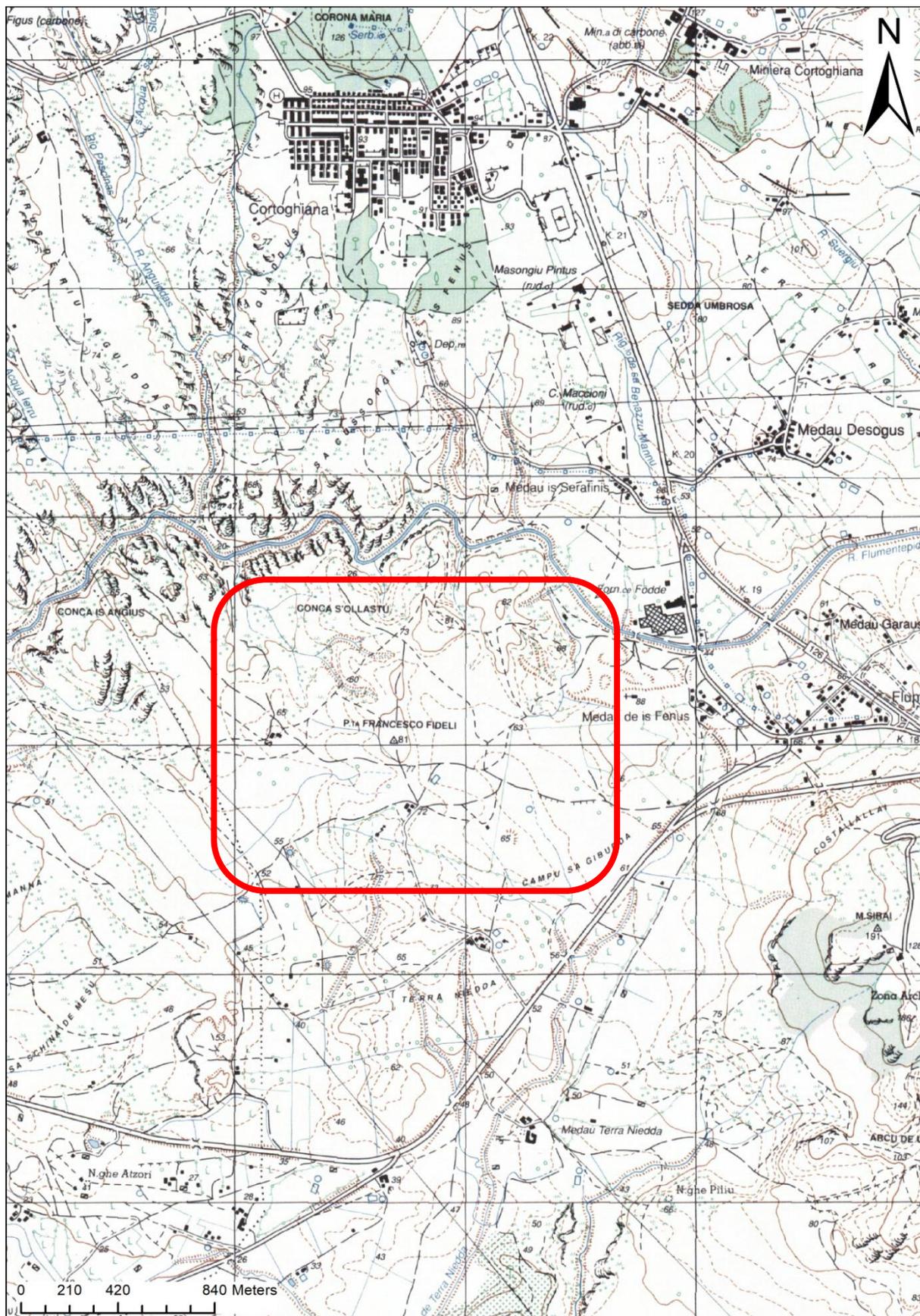


Figura 1.2: Inquadramento Topografico su Cartografia IGM.



1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche 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 Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

D.M. 17 Gennaio 2018

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e relativa circolare esplicativa

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La conoscenza delle caratteristiche geologiche del territorio è di fondamentale importanza per qualsiasi attività o intervento che si voglia realizzare nello stesso. Questo capitolo si caratterizza con l'inquadramento geologico generale del bacino carbonifero Sulcitano con riferimento all'area vasta del comune di Carbonia

2.1 GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA VASTA

L'area del comune di Carbonia è sostanzialmente divisa in due grandi blocchi il primo appartenente alla successione cambriana che si estende da N-NW sino a S-SE mentre il secondo blocco appartenente alle successioni eoceniche e recenti, in discordanza con il primo blocco, e copre in linee generali, il settore che va da N-NW a S-SE.

Nel grande blocco cambriano, affiorano i terreni più antichi, essi sono costituiti dai termini del Cambriano e dell'Ordoviciano Il secondo grande blocco che caratterizza l'area del Comune di Carbonia inizia con uno strato di base appartenente alla cosiddetta Formazione del Miliolitico per continuare verso l'alto con la nota formazione del produttivo a cui si sovrappongono la formazione del Cixerri e quindi la grande copertura vulcanica che ricopre gran parte dei comuni limitrofi a quello di Carbonia da NW a S.

La copertura vulcanica tipica dell'area del Sulcis si rinviene all'interno dell'area in 18 unità appartenenti a due diversi settori, quello di Seruci – Matzaccara costituito da alternanze di Ignimbriti, depositi continentali e lave basaltico andesitiche e flussi piroclastici e quello di Sa Truixedda – Monte San Michele Arenas – Monte Palmas costituito da una alternanza di lave andesitiche, breccie caotiche e andesiti.

Il pleistocene è caratterizzato nell'area vasta da depositi sabbiosi e da depositi alluvionali.

Mentre l'olocene è caratterizzato nell'area vasta da depositi alluvionali ciottolosi sabbiosi e/o limosi e da depositi sabbiosi. Inoltre è presente l'attuale che nell'area del territorio comunale si rinviene in modo sparso e soprattutto in prevalenza nei territori interessati da coltivazioni minerarie e depositi antropici costituiti dalle discariche di R.S.U. e industriali di Carbonia quali. Tra le discariche minerarie più imponenti si segnalano quelle della grande miniera di Serbariu, Orbai, etc...

2.2 DESCRIZIONE LITO – STRATIGRAFICA

in parte litologie sedimentarie dell'oligocene, quelle vulcaniche e sedimentarie del miocene e quelle del quaternario antico e recente.

In particolare sul settore centro orientale e settentrionale affiorano le litologie sedimentarie della formazione del cixerri (**CIX**), la quale rappresenta la stratigrafica dell'area in studio. Le rocce di questa formazione sono costituite da una alternanza di argille siltose di colore rossastro, arenarie quarzose in bancate con frequenti tracce di bioturbazioni e conglomerati poligenici debolmente cementati.

Più limitatamente sul settore centro – settentrionale affiorano le rocce vulcaniche di tipo riolitico riconosciute come Rioliti di Monte Crobu (**CBU**), formate da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico i quali risultano da mediamente saldati poco saldati (tufi, lapilli e tufi a lapilli)

In continuità stratigrafica, affiorano in maniera più estesa, sul settore settentrionale e occidentale dell'area in studio, le Rioliti di Nuraxi (**NUR**), anch'esse formate da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico.

Sempre sul settore settentrionale affiorano le Comenditi AUCT. (**CDT**), costituite da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica di tipo comenditico da molto saldati e poco saldati.



A contatto con le comenditi sono presenti le Rioliti di Seruci (**SRC**), formate sempre da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico ma, si differenziano dalle altre unità vulcaniche in quanto risultano molto addensate e saldate.

Sul settore più settentrionale dell'area in studio affiorano le Rioliti Iperacaline di Monte Ulmus (**ULM**), costituite da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico iperacalino con cristalli liberi di quarzo, sanidino etc..., di colore grigio bruno.

In continuità stratigrafica, sul settore SW dell'area in studio, affiorano le Rioliti di Paringianu (**PRU**), costituite anch'esse da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico con alternanze di depositi di caduta .

Sul settore centrale, settentrionale e meridionale in maniera estesa, affiorano i sedimenti alluvionali del quaternario più antichi, ovvero la parte bassa del Sintema di Portovesme (**PVM2b**), costituiti in generale da sabbie medio grossolane più o meno ferrettizzate, il colore rossastro di questi depositi è legato ai fenomeni di ossidazione della frazione argillosa in ambiente subaereo con formazione di ematite ferrosa. I livelli sabbiosi hanno composizione prevalentemente quarzoso feldspatica derivanti dall'alterazione dei litotipi granitici, i granuli sono poco arrotondati ed elaborati e fortemente cementati dagli ossidi di ferro e dall'argilla illuviale. Il grado di addensamento di questi depositi è generalmente elevato e in giacitura caotica.

La parte alta della formazione del Sintema di Portovesme (**PVM2a**), affiora sull'area nei settori più orientali, occidentali e in parte settentrionali. I depositi della parte alta sono costituiti da ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane con subordinate sabbie.

Sul settore centrale da W a E dell'area in studio, affiorano i depositi terrazzati Olocenici (**bn**), costituiti da ghiaie con subordinate sabbie. Gli spessori di questi sedimenti sono variabili e mai uniformi, in generale sono molto addensati e il colore va da arancio scuro per fenomeni di pregressa ossidazione.

Limitatamente sul settore centrale e settentrionale dell'area in studio, si osservano le coltri eluvio colluviali (**b2**), costuite da detriti grossolani immersi in matrice sabbioso – siltosa, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti e arricchiti in frazione organica.

Lungo le sponde di corsi d'acqua che scorrono sull'area d'interesse, affiorano i depositi alluvionali olocenici (**b**), costituiti da sabbie e ghiaie con differente grado di addensamento.

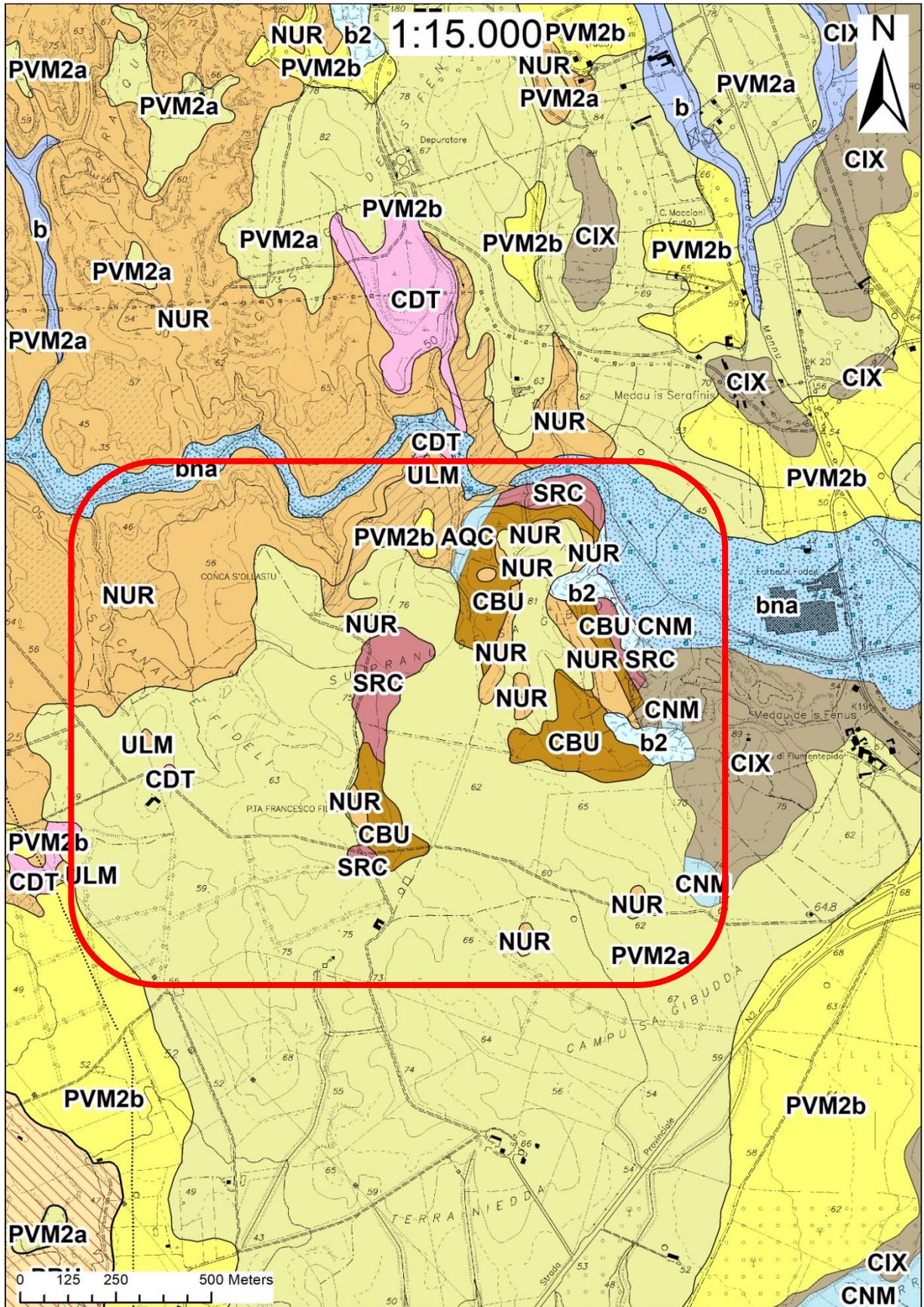


Figura 2.1: Stralcio della Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, curata dalla RAS

-  b - Depositi alluvionali. OLOCENE
-  b2 - Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
-  bna - Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE
-  PVM2a - Lito facies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
-  PVM2b - Lito facies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.
-  PRU - RIOLITI DI PARINGIANU (Lipariti t1 Auct.). Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, a chimismo riolitico, con alternanze di depositi di caduta, con cristalli liberi di Qtz, Sa, Pl, subordinata Bt, di colore variabile da grigio giallastro MIOCENE MEDIO (LANGHIANO)
-  ULM - RIOLITI IPERACALINE DI MONTE ULMUS (Lipariti t2 Auct.). Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, a chimismo riolitico iperalcalino, con cristalli liberi di Sa, Qtz, subordinati Cpx, E nigmatite, Bt, di colore grigio bruno, MIOCENE MEDIO (LANGHIANO)
-  SRC - RIOLITI DI SERUCI. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica a chimismo riolitico, densamente saldati, a tessitura eutassitica, con cristalli liberi di Pl, scarsi Opx, Cpx, Fa, spesso con livello vitrofirico alla base MIOCENE MEDIO (LANGHIANO)
-  CDT - COMENDITI AUCT. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica di tipo composito, a chimismo riolitico comenditico, con cristalli liberi di Sa, Qtz, Arf, Aeg, da non saldati (tufi, tufi a lapilli) a densamente saldati, con tessitura eutassitica MIOCENE MEDIO (LANGHIANO)
-  NUR - RIOLITI DI NURAXI (Lipariti t4 Auct.). Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica a chimismo riolitico, con cristalli liberi di Pl (con orlo di Sa), Sa, scarsi Opx, Cpx, Mag, di colore variabile da grigio ceruleo a bruno violaceo MIOCENE MEDIO (LANGHIANO)
-  CBU - RIOLITI DI MONTE CROBU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica a chimismo riolitico, con cristalli liberi di Sa, Pl, e subordinati Px, Ol e Bt, da densamente saldati con tessitura eutassitica, a non saldati (tufi, tufi a lapilli) MIOCENE INF.
-  CIX - FORMAZIONE DEL CIXERRI. Argille siltose di colore rossastro, arenarie quarzoso-feldspatiche in bancate con frequenti tracce di bioturbazione, conglomerati eterometrici e poligenici debolmente cementati. EOCENE MEDIO - ?OLIGOCENE

Figura 2.2: legenda dello Stralcio della Carta Geologica

2.3 GEOLOGIA LOCALE

La gran parte del sito in studio è costituito da coltri alluvionali pleistoceniche attribuite al subsistema di Portoscuso, in particolare si ritiene che nel sito siano presenti depositi di ambiente alluvionale (PVM_{2a}) con a tratti una sottile copertura di sabbie alluvionali rimaneggiate dal vento, quindi di ambiente eolico (PVM_{2b}).

L'età pleistocenica superiore del subsistema è stata confermata da tre determinazioni radiometriche effettuate nell'ambito del Progetto CARG con il metodo ¹⁴C. A Portoscuso (coord.: 4976-3835) la determinazione ¹⁴C, effettuata su molluschi polmonati di un livello sabbioso-siltoso di interduna, ha dato un'età di 11.420±40 anni BP.

I depositi alluvionali sono in genere grossolani (ghiaie grossolane sino a blocchi), con clasti a spigoli da sub-angolosi a sub-arrotondati. Questi sedimenti localmente presentano stratificazioni incrociate concave, in genere di limitata ampiezza e profondità. Ai livelli ghiaiosi sono intercalati lenti e livelli di sedimenti fini (sabbie e silt). Questi caratteri sono riferibili a corsi d'acqua a canali intrecciati.

Questi depositi alluvionali rappresentano i residui di estese conoidi alluvionali variamente incise e terrazzate. La base dei depositi modellata sul substrato è spesso lievemente inclinata verso la pianura, a testimoniare che prima della fase di aggradazione sono stati modellati glacis più o meno estesi, come peraltro segnalato anche in altre parti della Sardegna (Barca et alii, 1981b).

Nel sito in studio questi corpi alluvionali sono formati da alternanze di livelli sabbiosi, con ciottoli più o meno abbondanti con dimensioni da centimetriche a decimetriche, piuttosto elaborati. Sono estremamente addensati e hanno nel complesso eccellenti caratteristiche geotecniche.

Sono ricoperti da suoli sabbiosi con scarso contenuto di materiale organico.



Figura 2.3: suoli sabbiosi su depositi alluvionali con diffusa presenza di ciottoli



Figura 2.4: taglio stradale limitrofo all'area in studio dove è ben rappresentata una successione stratigrafica tipica dei corpi alluvionali pleistocenici locali

2.4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I caratteri morfologici che si evidenziano nel Sulcis sono essenzialmente riconducibili alla presenza di un grande espansione vulcanico di natura generalmente ignimbrica con giacitura in prevalenza tabulare, oggi smembrato in zolle disposte a varia altezza, le quali presentano un generale sbandamento verso SW ed una pendenza media intorno all'8-10%.



Quest'espandimento ignimbrico che è stato suddiviso in varie unità principali, (Assorgia et Al., 1992), ed è stato oggetto nel tempo degli agenti del modellamento del rilievo (acqua, vento, variazioni termiche) e, soprattutto, delle forze endogene che smembrandolo e dislocandolo hanno accentuato i processi erosivi. Testimoni di questo fatto sono le due principali direttrici tettoniche in direzione N-S ed E-W. Lungo queste direttrici si sono impostate delle incisioni, decisamente pronunciate che consentono di seguire le successioni degli episodi ignimbrici così come avviene negli acrocori formati in corrispondenza degli alti strutturali (horst tettonici) come il Monte Sinni ed il Monte Sirai.

Lungo le suddette incisioni affiora, al di sotto delle vulcaniti la formazione sedimentaria del Cixerri.

Infatti, a causa della nota faglia detta di "Cortoghiana", la predetta formazione affiora sul lato Est del bacino Sulcitano, ove il paesaggio, si presenta caratterizzato da rilievi "mammellonari" che determinano una generale morfologia collinare.

La zona a E del Comune di Carbonia presenta una morfologia più aspra dovuta a rilievi appartenenti al basamento paleozoico. Mentre nella zona a Sud della città di Carbonia, essa si

presenta formata da vulcaniti di natura andesitica caratterizzata da corpi lavici di forma cupoliforme che danno origine ad una morfologia decisamente più accidentata di tipo montuoso - collinare.

A causa della morfologia ondulata, questi sedimenti, per quanto notevolmente addensati, possono essere soggetti ad un dilavamento diffuso, talora concentrato, dal ruscellamento delle acque piovane.

2.5 IDROGEOLOGIA

Tutte le acque dolci che si trovano in Sardegna sono da collegarsi direttamente con la caduta di piogge il cui quantitativo non è scarso, essendo pari in media a quasi 19 miliardi di m³ all'anno. Una considerevole aliquota di dette acque è però destinata a ritornare rapidamente all'atmosfera per effetto dell'evapotraspirazione che, in Sardegna, è particolarmente elevata, dati gli alti valori raggiunti dalla temperatura, l'elevata percentuale dei giorni sereni e la frequenza con cui soffiano i venti. Un'altra frazione considerevole viene trattenuta direttamente dalla vegetazione. Ciononostante, l'acqua restante rappresenta almeno la metà di quella originariamente pervenuta, o scorre sulla superficie emersa dell'isola e si infiltra nel sottosuolo alimentando le falde acquifere. A causa di tale regime di precipitazioni i corsi d'acqua in Sardegna non possono essere considerati dei fiumi veri e propri, in quanto anche i principali hanno un carattere nettamente torrentizio con portate minime o nulle per la maggior parte dell'anno, brevi e violente piene nel periodo piovoso.

2.6 IDROGRAFIA LOCALE

Il principale elemento idrografico dell'area è costituito dal Rio Flumentepido, nasce alle pendici del M. Cortoghiana Becciu (nel Foglio 555 "Iglesias") e dopo circa 23 km sfocia con il nome di Canale di Paringianu nella peschiera di Boi Cerbus, una stretta insenatura limitata dal promontorio di P.ta S'Aliga. Il bacino, di forma vagamente ellittica, ha una superficie di 120 km ed un asse con andamento circa ENE-WSW. Il maggior contributo un tempo era fornito dalle sorgenti di Caput Aquas di Barbusi che attualmente vengono captate direttamente in falda e sfruttate per uso civile.

Il bacino del Rio Flumentepido interessa circa il 40% dell'intero territorio comunale e comprende importanti aree urbanizzate (Cortoghiana, Barbusi, Flumentepido e Caput Aquas le principali), aree produttive principalmente in campo agricolo, infrastrutture viarie (SS 126, linea ferroviaria Carbonia-Villamassargia, SP 2 e viabilità comunale). Ha una superficie di 80,8 kmq e comprende diversi sub-bacini, di dimensioni e importanza ragguardevoli.

L'asta del rio Flumentepido si sviluppa secondo la direttrice tettonica Nord-Est - Sud-Ovest, conformazione imputabile alla complessa evoluzione geologica che ha subito il territorio sulcitano.

2.7 IDROLOGIA LOCALE

Nel territorio in esame si possono individuare diversi complessi idrogeologici costituiti dalle litologie mioceniche ignimbriche e alluvionali pleistoceniche. I litotipi vulcanici dell'area possono essere mediamente permeabili per fratturazione e consentono l'instaurarsi di falde idriche anche ad elevata profondità nei settori tettonicamente più fratturati.

L'elevato grado di addensamento delle coperture alluvionali pleistoceniche, nonché la scarsa permeabilità della Formazione del Cixerri, presente nell'area, fanno sì che gli acquiferi superficiali sia poco diffusi e poco consistenti.

2.7.1 Unità Idrogeologiche

La permeabilità è una proprietà caratteristica delle rocce che esprime l'attitudine della roccia a lasciarsi attraversare dall'acqua. Essa, quindi, esprime la capacità di assorbire le acque piovane e di far defluire le acque sotterranee.

Poiché la roccia non è un corpo omogeneo, è intuibile che all'interno di una stessa roccia varino sia le caratteristiche chimico-fisiche che le proprietà idrogeologiche. Vista la possibile disomogeneità, la permeabilità per litotipi considerati, non è rappresentata da un unico valore del coefficiente "K" ma da un intervallo di questo.

All'interno dell'area cartografata sono stati individuati cinque complessi, o unità litologiche, distinti caratterizzati da differenti intervalli di permeabilità "K" (in m/s), le unità idrogeologiche sono state divise secondo le seguenti classi di permeabilità:

- Impermeabile ($K < 10^{-7}$ cm/sec)
- Scarsamente permeabile ($10^{-4} > K > 10^{-7}$ cm/sec)
- Mediamente permeabile ($10 > K > 0^{-4}$ cm/sec)
- Altamente permeabile ($K > 10$ cm/sec)

Accorpendo le unità geologiche aventi in comune caratteri di permeabilità omogenei, sui cui insistono le opere in progetto è possibile distinguere 5 "Unità Idrogeologiche" principali:

1. Unità delle alluvioni oloceniche
2. Unità delle alluvioni plio-quadernarie
3. Unità delle vulcaniti oligo-mioceniche

Per brevità le singole Unità Idrogeologiche verranno successivamente descritte con il nome di Unità 1 fino alla 5.

Unità 1

Molto poco diffuse nell'area in studio. È composta prevalentemente da termini litologici granulari, sciolti o scarsamente cementati, generalmente eterometrici e talvolta monogenici, formanti la copertura detritica e alluvionale olocenica dei principali corsi d'acqua.

Il flusso idrico sotterraneo è favorito dalla porosità dei sedimenti e generalmente, in funzione della presenza o meno di materiali clastici fini (argille, limi) il grado di permeabilità varia da medio a alto. I principali acquiferi, di tipo freatico, sono localizzati nelle aree prossimali ai principali corsi d'acqua nei quali lo spessore dello strato detritico-alluvionale può risultare di qualche metro.

Unità 2

È formata da litotipi delle alluvioni terrazzate del Subsistema di Portoscuso caratterizzato da una permeabilità per porosità medio-bassa; localmente medio-alta nei livelli a matrice più grossolana.

L'unità è caratterizzata da una permeabilità variabile da bassa a impermeabile per porosità.

Unità 5

Depositi di flusso piroclastico, debolmente cementati, grossolanamente stratificati. Permeabilità per fessurazione complessiva medio-bassa, più alta nei termini con sistemi di fratturazione marcati (espandimenti ignimbrici e lavici) e più bassa nei livelli piroclastici ed epiclastici.

2.8 PERICOLO GEOLOGICO

Il comune di Carbonia risulta inserito nel piano di mappatura per il rischio idrogeologico per criticità idraulica e da frana definita dal piano di Assetto idrogeologico, pertanto è stata eseguita una analisi sul pericolo idrogeologico consultando le carte e i dati forniti da SardegnaGeoportale. Come mostrano le fig. seguenti l'area di progetto ricade al di fuori delle aree perimetrate a pericolo idraulico e da frana; pertanto, si riscontra che l'area interessata dal progetto ha raggiunto una stabilità morfogenetica tale da escludere eventi dannosi per l'opera da realizzare.

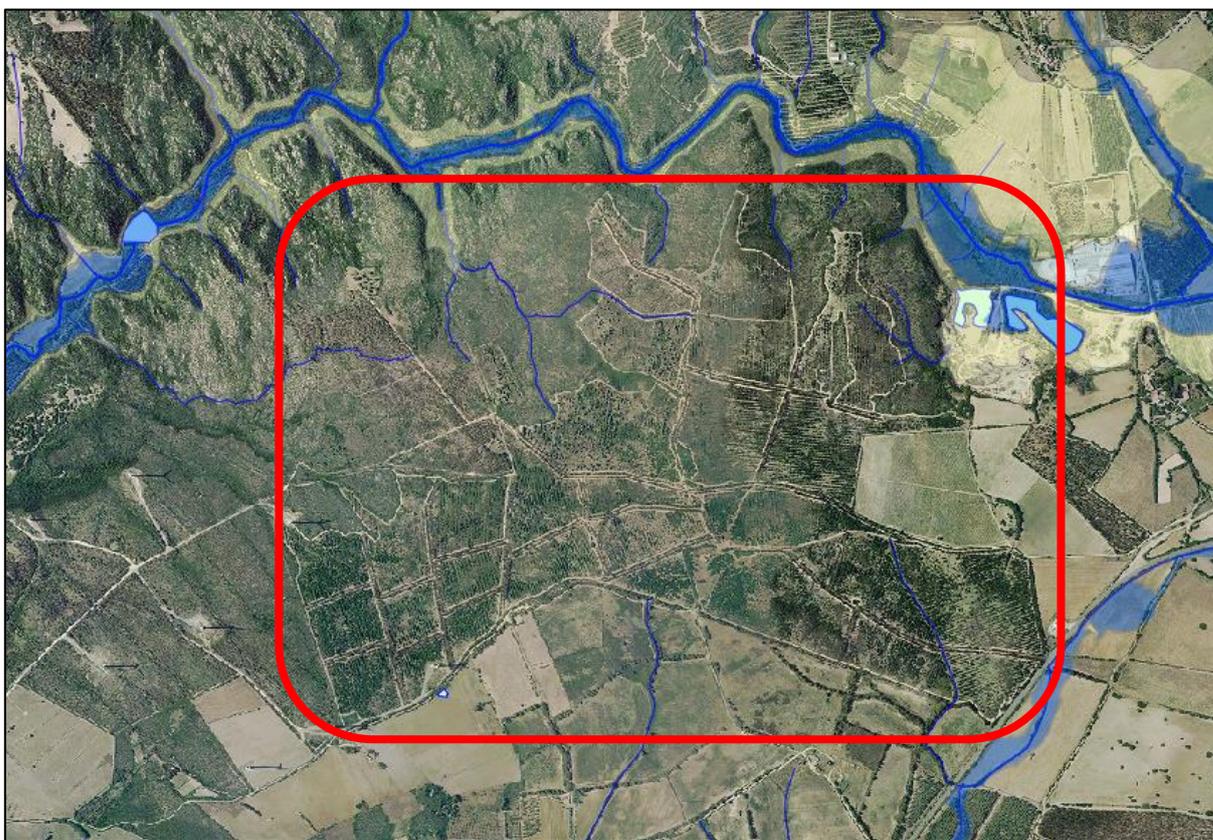


Figura 2.5: Stralcio della carta della pericolosità idraulica (SardegnaGeoportale)

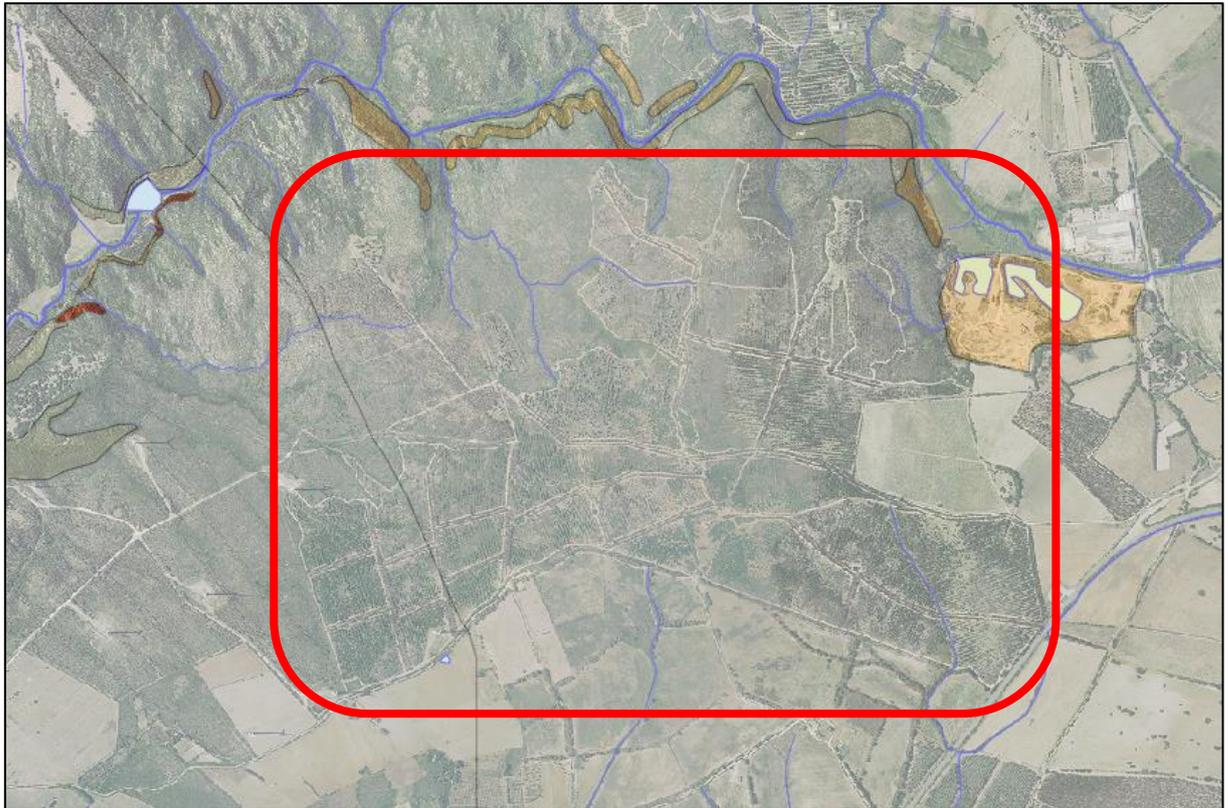


Figura 2.6: Stralcio della carta della pericolosità da frana (SardegnaGeoportale)

3. TETTONICA

Nell'area del comune di Carbonia, considerando anche la complessità delle strutture geologiche che caratterizzano la stessa, riveste un ruolo importante. Il sistema di faglie che interessa tutta la sequenza terziaria controlla spesso i principali elementi morfologici degli affioramenti; la direzione è prevalentemente N-NW e S-SE e coniugata, e, subordinatamente, E-W. A causa di queste strutture l'intero bacino e quindi di conseguenza anche il giacimento, sono suddivisi in diversi blocchi che giacciono a diverse quote generalmente approfondite in direzione S-SW, dando così origine ad una morfologia simile ad un semigraben (Carbosulcis S.p.A., 1994). Nel 1990 De Candia A., Coccozza T., Gandin A. – Rapporto Interno Carbosulcis ecc. attribuiscono all'intervallo tra il Miocene (Messiniano) ed il Quaternario Pre-Tirreniano (Mindel) che gli eventi tettonici si sono verificati globalmente nella fase post-deposizionale, in particolare per quanto riguarda il produttivo. Dai dati più recenti nell'ambito del produttivo si desume che vi è stata un'attività tettonica sindeposizionale, che è certamente in accordo con l'evoluzione dell'intero bacino. Quest'attività è stata com'è ovvio un'attività decisamente blanda. Originariamente il bacino aveva giacitura e andamento regolare al quale sono andati a sovrapporsi gli elementi tettonici che ne hanno modificato significativamente quella che era la geometria e la giacitura del Produttivo. Ne risulta che nell'area, tutto il Produttivo, limitatamente alle direttrici all'interno delle quali risulta contenuto, viene sollevato o abbassato, spesso basculato, dando origine ad una struttura a blocchi di dimensioni variabili con geometria abbastanza costante che spesso si ripete a differente scala dimensionale. L'entità del rigetto delle varie zolle o blocchi varia dal metro alla decina di metri. Questo tipo di assetto geometrico ha creato fin dai tempi delle prime coltivazioni minerarie diversi problemi.

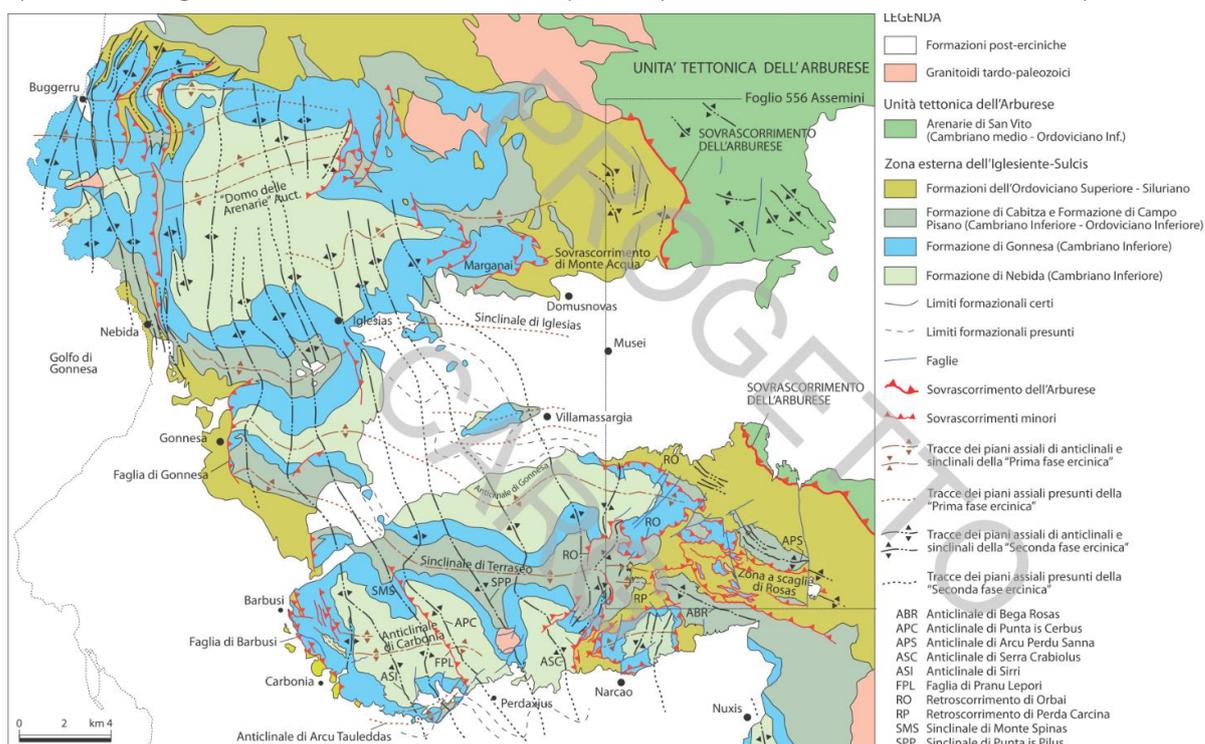


Figura 3.1: Schema strutturale del basamento ercinico del foglio 556 (estratto dalle note illustrative CARG)



4. RISPOSTA SISMICA

Le NTC 2018 fissa i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e aggiorna le norme tecniche per le costruzioni nelle medesime zone.

L'art. 2 dell'Ordinanza OPCM 3274 del 2003 prevede che siano le Regioni, sulla base dei Criteri generali indicati dallo Stato ad individuare, formare ed aggiornare l'elenco delle zone sismiche.

Le Zone Sismiche sono fissate in numero di quattro, in funzione di quattro valori significati delle accelerazioni sismiche di progetto. Tutta la Sardegna appartiene alla Zona Sismica 4. L'assegnazione a tutto il territorio regionale della Sardegna a questa zona è stata in seguito confermata nell'Ordinanza del 2006 (OPCM 3519).

4.1 SISMICITA' STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

Attualmente la sismicità di una certa porzione di territorio italiano viene definita sulla base di determinati coefficienti organizzati e definiti sulla base di alcune leggi che hanno cercato di dare ordine ad un insieme disordinato e pur vasto di un insieme di elementi che non sempre permettevano di esprimere con esattezza e completezza la sismicità di un certo territorio. Questa è in funzione della distribuzione geografica dei terremoti, frequenza, intensità, energia, natura, e la loro correlazione con gli elementi geologici. L'acquisizione e l'elaborazione di tutti questi fattori rimane assai difficile e complessa, quindi l'elemento principale su cui ci si basa per definire la sismicità di un territorio è l'attitudine di una regione ad essere soggetta ai terremoti in relazione agli effetti prodotti dalle scosse.

Una ricostruzione su base storica della sismicità di una certa regione presenta dei limiti tangibili, in particolar modo per la Sardegna dove gli eventi tettonici si sono susseguiti su scale di tempo sicuramente molto più dilatate rispetto ad altre zone d'Italia o del Mediterraneo. A ciò si lega la scarsità di fonti documentarie, le quali essendo fondamentalmente legate all'uso della scrittura, non possono essere pertanto testimoniati dai popoli nuragici, pertanto eventuali eventi anche disastrosi non hanno lasciato testimonianze dirette. La sismologia storica in Sardegna si scontra quindi con difficoltà notevoli, ciononostante recenti studi archeologici sui crolli delle torri nuragiche evidenziano tracce di paleo sismicità lungo alcune principali direttrici tettoniche, a ulteriore testimonianza di come la grossolana definizione della Sardegna come "terra asismica" si scontri con evidenti tracce di una certa vivacità tettonica, passata ma anche recente. In parte testimoniata dalla cartografia prodotta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), uno dei Gruppi Nazionali di ricerca scientifica di cui si avvale il Servizio Nazionale della Protezione Civile, in una carta prodotta nel 1996, sulla base degli eventi sismici descritti nei cataloghi nazionali parte della Sardegna settentrionale veniva indicata come soggetta a scosse del V grado M.C.S. con tempi di ritorno $T=475$ anni.

Anche la carta della "Massima intensità macrosismica risentita in Italia" del 1995 viene indicata parte della Gallura settentrionale come soggetta ad eventi sismici passati del VI grado M.C.S.

Vediamo come gli studi basati sulla sismicità storica, per quanto parziali e incompleti sulla Sardegna quantomeno individuano nell'Isola settori soggetti a possibili eventi tellurici di una certa consistenza, ma in tempi più recenti sia con l'emanazione dell'O.P.C.M. 3274, e ora con il D.M. 14 gennaio 2008 la Sardegna viene nella sua totalità classificata in zona 4, pur non essendo stato effettuato uno studio specifico sul picco di accelerazione PGA atteso.

In tempi più recenti la disponibilità di fonti storiche di vario tipo permette la ricostruzione di una cronistoria di una serie di eventi sismici.



4.1.1 *Tracce di paleosismicità*

Sporadici studi sono stati compiuti in tal senso, per lo più concentrati nella Sardegna settentrionale, ritenuta come più “promettente” dal punto di vista di eventuali tracce di una paleosismicità per via della sua relativamente recente attività effusiva Plio-Quaternaria, le ultime della Sardegna, fenomeni diagnostici di una possibile attività tettonica ancora in corso. La ricerca ha riguardato lo studio di tracce in crolli, dislocamenti e torsioni nei caratteristici monumenti megalitici sardi (Nuraghi e Domus de Janas)

Le analisi condotte fino a questo momento hanno evidenziato un certo riscontro tra la distribuzione di danneggiamenti strutturali e trend omogenei nell’orientazione dei crolli di torri nuragiche e la loro disposizione lungo faglie di importanza regionale, correlata ad attività vulcanica Plio-Quaternaria relativamente recente.

4.1.2 *Sismicità Storica*

1616 – Il primo terremoto storico noto in Sardegna, venne avvertito a Cagliari il 4 giugno del 1616, testimoniato da una piccola iscrizione marmorea nel Duomo: “A.D. 4 juni terremotus factus est 1616”.

Recenti studi hanno dimostrato come l’evento abbia interessato un’area piuttosto vasta, che si estendeva nel settore sud-orientale della Sardegna l’evento colpì il litorale di Villasimius, il golfo di Cagliari, le torri di Cala Pira, San Luigi, l’Isola di Serpentara, di Porto Giunco, l’Isola dei Cavoli, di Cala Caterina, di Capo Boi, di Cala Regina fino a Monte Fenugu.

Testimonianze dell’epoca riferiscono veri e propri momenti di panico tra la popolazione dell’hinterland cagliaritano.

Il sisma creò danni a strutture esistenti, infatti recenti studi basati sul ritrovamento di documenti datati tra agosto e dicembre del 1616 testimoniano la necessità di dover procedere al restauro di otto torri difensive, “resosi necessario per le lesioni determinate da una scossa di terremoto avvenuta appunto nel giugno precedente”.

Dai dati noti è possibile ipotizzare una scossa piuttosto forte, con una intensità compresa tra il 6° e il 7° grado della scala Mercalli (magnitudo \approx 6.1).

L’ubicazione dell’epicentro rimane incerta, a seconda degli studiosi viene indicato nei pressi di Siliqua nella zona di Acquafredda, più recentemente lo si ipotizza in mare aperto, non distante dalla costa. In questo caso il sisma sarebbe quindi una conseguenza della dinamica del bacino del Tirreno meridionale.

1771 – Il secondo venne avvertito prevalentemente a Cagliari, ma anche a Iglesias e nell’Isola di San Pietro la sera del 17 agosto del 1771. Il sisma di media entità approssimativamente del 4° grado Mercalli (magnitudo \approx 4) non produsse danni, ma gli effetti furono ben percepiti nelle abitazioni con vibrazioni nelle strutture in legno, oscillazioni di vetri, vasellame e mobilia.

L’epicentro di queste due manifestazioni sismiche è individuato a circa 30 Km a Nord-Ovest di Cagliari, nella località di “s’Acqua Cotta” tra Villasor e Villacidro dove si hanno delle manifestazioni idrotermali in corrispondenza di una faglia profonda.

1838 – avvertito il 2 febbraio alle ore 22.30 nei pressi di Sant’Antonio di Gallura, magnitudo 4.83. È il primo terremoto riportato dall’Istituto Nazionale di Geofisica per la Sardegna.

1855 – la letteratura ci tramanda assai pochi dati a proposito di questo evento sismico: sentito leggermente a Sanluri e Gergei, con probabile epicentro nella zona di Sardara, dove vi è una faglia molto estesa (magnitudo \approx 3.5).

1855 – avvertito a Muravera, con epicentro probabile nei pressi di Capo Ferrato. Però non è possibile dire se in terra o in mare o in prossimità della costa. Si ritiene che nella zona vi siano centri eruttivi recenti.

1870 – un episodio di cronaca cita una scossa sismica del 5° grado della scala Mercalli (magnitudo \approx 4.8) di due secondi avvertita a Bitti il 4 luglio 1870, creò un po’ di panico tra la popolazione. L’epicentro è

collocato dai cataloghi sismici presso Ittireddu (Ozieri), in una zona geologicamente complessa e disturbata.

1887 – a Sassari ed Alghero venne avvertito un terremoto la mattina del 23 febbraio 1887, con scosse in senso ondulatorio, in coincidenza di un fenomeno analogo registrato in Liguria. L'epicentro dovrebbe essere in mare ad una distanza di 30-35 Km dalla costa (3°-4° Mercalli, magnitudo \approx 4.2-4.5).

1924 – scosse sismiche vengono registrate nella Sardegna nord-occidentale.

1948 – questo è il primo sisma di cui si dispongono dati strumentali di molte stazioni sismiche italiane ed europee, nonché di notizie macrosismiche più precise e abbondanti.

L'evento interessò la Sardegna settentrionale ed in particolare in alcuni paesi della Gallura venne avvertito un terremoto del 6° grado della scala Mercalli il 13 novembre 1948 alle 9.52. Prodotte danni agli edifici situati nei paesi circostanti la zona di Tempio Pausania: particolarmente colpiti risultarono Aggius, Trinità d'Agultu e Badesi. Dal 13 novembre in poi vennero avvertite una ventina di repliche con intensità decrescente. Le più intense furono quelle del 16 alle 22.55, del 21 alle 22.02 e dell'8 dicembre alle 4.35 ed alle 13.15, con intensità valutata sul 4° o al massimo del 5° grado della scala Mercalli. L'epicentro era in mare, a poca distanza dalla costa.

Dall'esame dell'andamento degli effetti nei vari centri interessati dal sisma si riscontra un andamento piuttosto regolare nella propagazione dell'energia, salvo nella zona di Giave e Ittireddu, ove l'irregolarità può essere causata dal passaggio delle onde sismiche dal basamento granitico alla copertura sedimentaria. Questa considerazione spiega come la scossa abbia prodotto effetti del 4° Mercalli a Bono, mentre a Florinas e a Sassari non ha superato il 3°, nonostante siano decisamente più vicine all'epicentro. La natura sedimentaria dei sedimenti su cui fondano queste ultime, pur esaltando le sollecitazioni all'ingresso della coltre sedimentaria, determinano successivamente un notevole assorbimento di energia per trasformazione del lavoro in attrito.

In base alle registrazioni strumentali si è calcolato una magnitudo pari a 5, e confrontando questo dato con la scala Mercalli si ottiene che all'epicentro la scossa è stata del 7°. Tenendo conto della posizione dell'epicentro in mare, a poca distanza dalla costa, si ha una conferma della valutazione per i paesi della Gallura di una intensità massima pari al 6°.

Un'indagine eseguita a suo tempo sui danni agli edifici dimostrò che questi presentavano sempre caratteristiche simili fra loro: distacco di volte da muri di sostegno e gravi lesioni negli spigoli. Data la modesta entità della scossa si ritiene che tali danni siano imputabili più che altro alle caratteristiche degli edifici: case di antica costruzione con malte poco coerenti e muri maestri semplicemente accostati sugli spigoli. Mentre gli edifici moderni di una certa importanza e costruzioni in mattoni non subirono danni apprezzabili.

1960 – terremoto di 5° grado della scala Mercalli (magnitudo \approx 4.8) con epicentro nei dintorni di Tempio.

1977 – il 18 settembre del 1977, alle 11.45 viene percepita una scossa di terremoto classificata del 7° grado della scala Mercalli (magnitudo \approx 6.1) nella Sardegna meridionale, in particolare a Cagliari, ma la scossa viene ben percepita anche ad Oristano. Le cronache riferiscono che la scossa crea panico tra la popolazione, molte persone si riversano nelle strade e cinque malati di cuore finiscono all'ospedale per crisi cardiaca, i centralini dei vigili del fuoco e delle forze dell'ordine vengono intasati.

L'epicentro viene individuato al largo dell'Isola di Sant'Antioco ed è legato all'attività di un vulcano sottomarino che si trova a 3000 metri di profondità, battezzato con il nome "Quirino".

2000 – il 26 Aprile 2000 alle 15.30 vengono percepite delle scosse sismiche nella Sardegna nord occidentale. Si tratta di due scosse in mare aperto con epicentro al largo di Posada, 20 miglia a est, di magnitudo 4.0 e 4.5.

2004 – tra il 12 e il 18 dicembre 2004, una sequenza sismica di moderata energia (con massima magnitudo pari a 4.5) ha interessato un'area posta al largo della costa nord-orientale sarda, di fronte ai comuni di Siniscola, San Teodoro e Olbia.



2006 – il 23 marzo 2006 alle 23,45 una scossa di terremoto è stata registrata a Cagliari e nei centri sud-occidentali dell'Isola, avvertita nella notte a Cagliari e nei centri limitrofi. La Rete Sismica Nazionale, INGV, ha registrato un sisma di magnitudo 3,4 sulla scala Richter. L'epicentro è stato localizzato al largo di Capo Spartivento. I comuni interessati sono stati Pula, Villa San Pietro, Domus de maria, Sarroch, Teulada, Capoterra, Santadi, Sant'Anna Arresi, Piscinas, Nuxis, Cagliari, Masainas, Villaperuccio, Giba, Elmas, Quartu S.Elena, Quartucciu, Selargius, Narcao, Assemini.

2009 – il 5 febbraio 2009 è stata avvertita una scossa sismica dalla popolazione sulla costa nord occidentale della Sardegna. L'epicentro è stato localizzato nel Mar Tirreno centrale, circa a 50 km ad Ovest rispetto al comune di Olbia.

Dalle verifiche effettuate dalla Sala Situazione Italia del Dipartimento della Protezione Civile non risultano danni a persone o cose.

Secondo i rilievi l'evento sismico è stato registrato alle ore 16.02, con una magnitudo di 4.3 e si colloca ad una profondità di circa 30 km.

2010 – il 10 novembre 2010 è stata avvertita una scossa di terremoto di magnitudo 4.1 nelle città di Sassari e Porto Torres intorno alle 19. L'epicentro è stato localizzato a circa 200 chilometri dalla costa, fra Porto Torres e la Francia occidentale.

La scossa è stata segnalata dal "Bureau central sismologique francais" ma non dall'Istituto nazionale di geofisica, essendo avvenuta in acque territoriali francesi. Secondo l'istituto il sisma si è verificato alle 19.23 al largo in mare a sud est di Tolone. L'onda sismica ha poi raggiunto anche la costa nord della Sardegna, facendosi sentire in particolare a Sassari e Porto Torres dove, a parte l'allarme della popolazione, non ha avuto nessuna ripercussione su persone o cose.

2011 - alle 19,21 del 7 luglio del 2011, a 100 chilometri a ovest di Ajaccio si era verificato un terremoto di magnitudo 5,3 che è stato avvertito anche nella Sardegna settentrionale. Non sono stati segnalati problemi alle persone o alle cose.

2012 – Un terremoto di magnitudo 4,6 è stato registrato alle ore 04,37 italiane del 4 marzo 2012, in mare, al largo della costa occidentale della Corsica a 88 chilometri al largo di Ajaccio. Il terremoto è stato rilevato a una profondità di due chilometri ed è stato avvertito distintamente anche in Sardegna.

Al centralino dei vigili del fuoco di Sassari è arrivata qualche telefonata che chiedeva informazioni circa il terremoto. Telefonate di persone curiose più che preoccupate che chiamavano da Alghero. A Sassari città e in altri centri della regione, invece, nessuno si è accorto del sisma, o quantomeno, nessuno si è preoccupato tanto da fare telefonate ai vigili del fuoco.

Le verifiche effettuate dalla sala situazione Italia del Dipartimento della Protezione civile hanno confermato che non ci sono stati danni. La scossa è stata avvertita anche in Corsica e a Marsiglia e nel sud della Francia.

2012 - Scossa di terremoto del 4,5 grado della scala Richter avvertita molto lievemente nel sud Sardegna e persino a Cagliari. Epicentro a metà strada tra la Sardegna e le Baleari, a 234 km dalle nostre coste.

2019 - Una scossa di lieve entità rilevata solo su base strumentale dall'INGV, l'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia. La scossa è stata registrata 41 secondi dopo le 21 e 21, il lieve terremoto è stato di magnitudo MI 2.0 con epicentro a dieci chilometri di profondità sotto il centro del Medio campidano. Nessuno a Samassi se n'è accorto, vigili del fuoco e forze dell'ordine non hanno ricevuto nessuna segnalazione. Ma quella nel sottosuolo del Campidano è stata la più forte delle tre scosse di terremoto registrate quest'anno in Sardegna: la prima era stata di magnitudo 1,5 a tre chilometri di profondità nel mare di Villasimius a fine marzo e pochi giorni dopo una seconda si era verificata tra Tertenia e Villaputzu a dieci chilometri di profondità, come l'ultimo caso, ma con magnitudo 1,7.

Da questi studi condotti dallo scrivente si desume che i terremoti hanno interessato la Sardegna settentrionale, nello specifico parte del Logudoro e del Goceano, e in parte anche la Sardegna meridionale; pertanto, non possono essere efficacemente rappresentative del territorio regionale,



ciononostante è evidente come uno studio sistematico potrebbe rivelare notevoli informazioni dal punto di vista dell'attività tettonica regionale, ancora oggi sottovalutata.

Allo stato attuale per lo studio della sismicità storica ci si avvale anche dei seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In Figura è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna e altri noti da studi storici locali.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale. I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15, dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

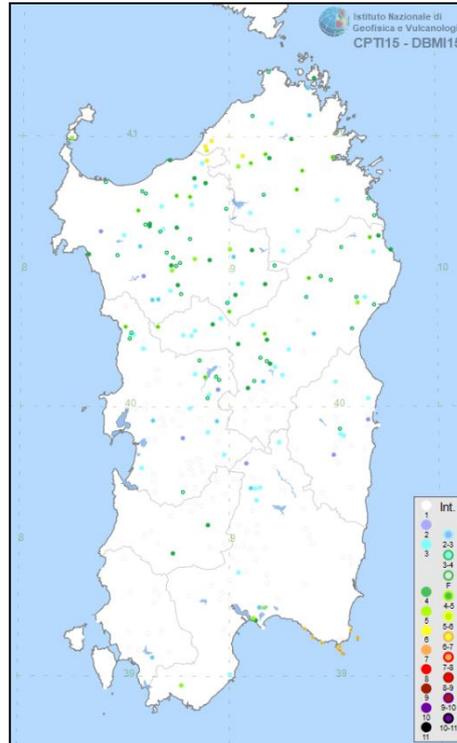


Figura 4.1: Epicentri da catalogo INGV

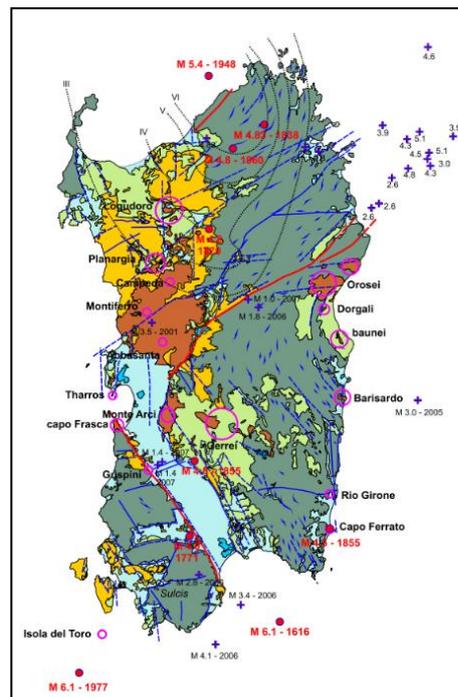


Figura 4.2: principali epicentri su schema strutturale

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMAGNETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dal progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

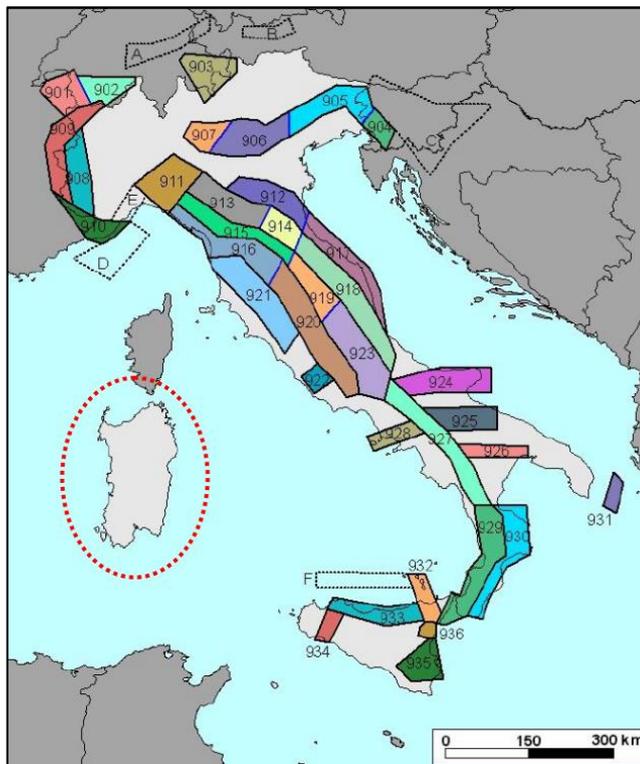


Figura 4.3: mappa della Zonizzazione Sismomagnetica ZS9 dell'Italia

4.3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) già con il D.M. 14/01/2008, recentemente sostituito dal DM del 17/01/2018, si introduceva il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2018 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- 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 (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

In particolare, la classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in 4 zone a diverso grado di sismicità espresso dal parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

La Sardegna è classificata come categoria 4.

I valori convenzionali di a_g espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

Tabella 4.1 – Valori massimi di a_g attesi per zona sismica

Zona	Valore di a_g
1	0.35 g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

4.4 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione.

Pertanto, per l'opera in oggetto in questo studio sono stati assunti i seguenti parametri:

- Vita Nominale (VN) di 50 anni;
- Cautelativamente si è utilizzata la Classe d'uso più gravosa IV;
- Categoria topografica: T1 in corrispondenza aree sub-pianeggianti;

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato.

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2018 (cfr. Allegato B, Tabella 2) si ritiene ragionevole assumere per l'intera isola un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock (a_g).

Il territorio in argomento e tutta la Sardegna, come sopra riportato, è classificato in Zona 4 come zona sismica di riferimento, caratterizzata da un valore a_g dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di superamento al 10% in 50 anni pari a $a_g = 0.05g$.

E' tuttavia importante sottolineare che le suddette valutazioni delle possibilità amplificative sono di tipo monodimensionale e non tengono conto delle caratteristiche morfologiche dei siti, (valli strette, versanti acclivi, creste, cucuzzoli etc.) che possono invece indurre importanti effetti amplificativi, soprattutto a causa dei fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale

A seconda delle diverse categorie di suolo ed in ordine all'amplificazione stratigrafica sono da considerare i seguenti Coefficienti S_s e S_c

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione.

Pertanto, per l'opera in oggetto in questo studio sono stati assunti i seguenti parametri:

- Vita Nominale (VN) di 50 anni;
- Cautelativamente si è utilizzata la Classe d'uso più gravosa IV;
- Categoria topografica: T1 in corrispondenza aree sub-pianeggianti;

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato.

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2018 (cfr. Allegato B, Tabella 2) si ritiene ragionevole assumere per l'intera isola un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock (a_g).

Il territorio in argomento e tutta la Sardegna, come sopra riportato, è classificato in Zona 4 come zona sismica di riferimento, caratterizzata da un valore a_g dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di superamento al 10% in 50 anni pari a $a_g = 0.05g$.

E' tuttavia importante sottolineare che le suddette valutazioni delle possibilità amplificative sono di tipo monodimensionale e non tengono conto delle caratteristiche morfologiche dei siti, (valli strette, versanti acclivi, creste, cucuzzoli etc.) che possono invece indurre importanti effetti amplificativi, soprattutto a causa dei fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche.

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale

A seconda delle diverse categorie di suolo ed in ordine all'amplificazione stratigrafica sono da considerare i seguenti Coefficienti S_s e S_c

Tabella 4.2 – Componenti orizzontali S_s e S_c per categorie di Sottosuolo

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S_s	S_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T^*c)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T^*c)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T^*c)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T^*c)^{-0.40}$

I valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico per il calcolo delle azioni sismiche orizzontali secondo le Norme tecniche per le costruzioni sono quelli di seguito indicati:

Tabella 4.3 – Valori caratteristici dello spettro di risposta

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S	T_B	T_C	T_D
A B C D E	1.00	0.05	0.15	1.00

dove S è il fattore amplificativo e T_B , T_C e T_D sono i tempi (durate) relativi ai vari tratti dello spettro di risposta corrispondente a ciascuna categoria di profilo stratigrafico.

La normativa sismica vigente evidenzia, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro

base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{sh} all'interno delle coperture. I valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta al sito dovrebbero derivare da accurate indagini di risposta sismica locale: in mancanza di tali studi nelle Norme tecniche per le costruzioni si definiscono per questo aspetto cinque indicate con le lettere A, B, C, D, E (non sono più contemplate le S1 ed S2), categorie di suolo di fondazione a diversa rigidità sismica caratterizzate da velocità V_{s30} (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti.

4.4.1 Parametrizzazione sismica e Azione sismica

Le NTC 2018 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si stabiliscono in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g su roccia (suolo tipo A) e del corrispondente spettro di risposta elastico.

Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR (ad esempio molti codici considerano la probabilità del 10% in 50 anni come riferimento per il progetto).

L'azione sismica, per il sito di edificazione e per la tipologia di costruzione definita (vita nominale, coefficiente d'uso), deve essere valutata relativamente allo Stato Limite da considerare.

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 in tabella:

Tabella 4.4: PVR per i diversi stati limite

STATI LIMITE	PVR	
	PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO NEL PERIODO DI RIFERIMENTO VR	
Stati limite di esercizio (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Fissata la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR per ciascun Stato Limite considerato, va determinato il periodo di ritorno dell'evento sismico da considerare.

A tal fine si utilizza la seguente formula e la relativa tabella:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR) = -C, VR / \ln(1-PVR)$$

A seconda dei diversi stati limite si ottengono i seguenti tempi di ritorno TR in funzione del tipo di costruzione e classe d'uso. Secondo quanto indicato dal progettista vengono indicati: Vita nominale > 50 anni (fabbricato di tipo 2) e di Classe IV (opere strategiche).

Tabella 4.5: Tempi di ritorno per opere di classe IV

STATI LIMITE	TEMPI DI RITORNO T_R (ANNI)	
	SLE	SLO
SLD		100
SLU	SLV	949
	SLC	1950

In corrispondenza dei diversi stati limite si riportano di seguito i valori dei parametri:

Tabella 4.6 – Parametri di pericolosità sismica

		A_g (G)	F0	TC* (SEC)
SLE	SLO	0.254	2.69	0.301
	SLD	0.313	2.73	0.307
SLU	SLV	0.599	2.98	0.370
	SLC	0.707	3.06	0.393

In assenza di specifiche indagini atte a definire la stratigrafia delle Vs presenti nel sito in studio, in questa fase preliminare ci si può pertanto limitare alla definizione della sola pericolosità sismica di base, mentre la definizione della risposta sismica locale, con la definizione delle azioni sismiche di progetto verranno definite nella fase di progettazione definitiva.

In prospettiva sismica, visto l'assetto stratigrafico riscontrato nel sito e le accelerazioni massime attese calcolate secondo le metodiche indicate nelle NTC2018, si ritiene che l'area a livello di superficie è da ritenersi in osservanza dell'Ordinanza P.C.M. N.3274 e del DM 14/09/05, ad incremento sismico molto basso, con coefficiente d'amplificazione topografica $ST= 1,0$.

5. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Sulla base della stratigrafia locale generale nota da dati di letteratura supportata dall'esecuzione di specifiche indagini, hanno permesso la definizione del modello geologico di dettaglio locale atto a definire il volume significativo di terreno influenzato dalle fondazioni delle opere in progetto.

I valori geotecnici indicati sono basati sull'osservazione dell'andamento delle indagini eseguite in un determinato sito, e precedentemente descritte.

I valori geotecnici di riferimento indicati in stratigrafia sono stati mediati dallo scrivente, eventualmente ridotti rispetto a quanto ottenuto dalle correlazioni empiriche precedentemente illustrate al fine di poter ottenere un modello geotecnico veritiero, ma ragionevolmente cautelativo del sito studiato.

5.1 CORRELAZIONI GEOTECNICHE DA PROVE PENETROMETRICHE

Le prove penetrometriche sono attualmente molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione poiché può essere svolta in tutti i tipi di terreno, coesivo o granulare (dalle argille alle ghiaie), comprese le rocce tenere, fornendo lo stato d'addensamento di terreni incoerenti e la consistenza di terreni coerenti, attraverso la valutazione della resistenza dinamica alla punta degli strati attraversati. È però necessario tenere sempre ben presente che le prove dinamiche continue sono state ideate per lo studio dei terreni incoerenti, i dati elaborati per gli strati coesivi, quindi, sono da considerarsi utili solo per un primo inquadramento del problema.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione (per tratti consecutivi di 10 cm) misurando il numero di colpi N necessari. La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano di campagna, ma in alcuni casi può essere condotta, con l'impiego di speciali accorgimenti, a partire dal fondo di fori di sondaggio.

5.1.1 Note Illustrative

L'elaborazione dei dati acquisiti, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)

➤ tipo SUPERPESANTE (DPSH)

La prova è denominata “continua” poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l’infissione della punta seguendo le raccomandazioni dell’Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977), mentre a livello europeo tali prescrizioni sono contenute nel documento n° 2 allegato alla procedura “ISSMFE 1988”, la tabella seguente mostra la classificazione dei penetrometri attualmente in uso distinti in funzione della massa del maglio:

CLASSIFICAZIONE ISSMFE DEI PENETROMETRI DINAMICI		MASSA MAGLIO (KG)	PROFONDITÀ MAX
DPL (<i>Dynamic Probing Light</i>)	leggero	≤ 10	8 m
DPM (<i>Dynamic Probing Medium</i>)	medio	Da 10 a 40	20 – 25 m
DPH (<i>Dynamic Probing Heavy</i>)	pesante	Da 40 a 60	25 m
DPSH (<i>Dynamic Probing Superheavy</i>)	superpesante	≥ 60	> 25 m

Nella fattispecie la prova è stata eseguita con un penetrometro mod. DeepDrill DM30, azionato da un gruppo oledinamico alimentato da un motore a scoppio da 4 Hp, provvisto di una massa battente di 30 Kg, classificabile quindi come tipo medio, lo strumento utilizzato per la presente indagine è composto da:

- una batteria d’aste ognuna lunga 1 m e dal peso di 2,93 Kg/m;
- una punta conica, avvitata (se a recupero) o semplicemente incastrata (se a perdere) nell’estremità inferiore della batteria d’aste interne, dal diametro di 35,7 mm ed un angolo di apertura di 60°; la superficie della punta può essere di 5 o di 10 cm²;
- un maglio da 30 Kg con una volata di 20 cm.

5.1.2 Metodologia di Elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall’effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l’andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

5.1.3 Interpretazione dei dati

La prova consiste nell'infissione nel terreno della punta per tratti standard di 10 cm, misurando il numero di colpi N_{10} necessari alla sua penetrazione. I litotipi attraversati hanno permesso l'esecuzione della prova in totale assenza di attrito laterale, non si è così reso necessario l'utilizzo delle aste di rivestimento antiattrito.

I risultati della prova, restituiti sotto forma di diagrammi in funzione della profondità (in ordinate) e del valore N_{10} (in ascisse), evidenziano la corrispondenza tra la variazione del valore di N lungo la verticale di prova e la variazione litologica dei terreni testati.

Il valore di N potrà essere utilizzato per calcolare anche l'energia necessaria alla penetrazione dinamica alla punta. Viene comunemente valutata secondo la formula Olandese:

dove:

$$R_{pd} = \frac{m^2 \cdot g \cdot H}{a \cdot e \cdot (m + m')} = Q \cdot N$$

R_{pd} = resistenza dinamica alla punta

m = peso del maglio (Kg)

m' = peso di: aste + testa di battuta + asta di guida + dispositivo di percussione (Kg)

g = accelerazione di gravità (m/s^2)

H = altezza di caduta del maglio (m)

a = area sezione trasversale alla punta (m^2)

e = penetrazione media per colpo

$Q = (m \cdot H) / a \cdot \delta$ = energia specifica teorica per colpo [δ = avanzamento in m]

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, è necessario applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive.

Pertanto, i penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all'SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; la conoscenza della quantità di energia necessaria alla penetrazione della punta, al netto del valore totale comprendente l'aliquota dispersa per dissipazione lungo le aste, permette la correlazione con le caratteristiche di resistenza del terreno determinate con la prova penetrometrica continua con la prova SPT.

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N, Q) alla prova SPT (N_{SPT}, Q_{SPT}), dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente:

$$R_{pd}' = Q \cdot N = Q_{SPT} \cdot N_{SPT} \Rightarrow N_{SPT} = N(Q / Q_{SPT}) = \beta \cdot t \cdot n$$

ove il rapporto $\beta \cdot t = Q / Q_{SPT}$ viene definito "coefficiente teorico d'energia" della prova in esame, relativamente alla prova SPT ($Q_{SPT} = 7,83 \text{ Kg/cm}^2 = 0,786 \text{ Mpa}$) per $m = 63,5 \text{ Kg}$, $a = 20,27 \text{ cm}^2$, $\delta = 0,30 \text{ m}$.

Il penetrometro utilizzato nella presente indagine è stato utilizzato con la punta di 5 cm^2 , per cui risulta avere un coefficiente teorico d'energia rispetto alla SPT di 1,55 ed una energia specifica per colpo di 12 Kg/cm^2 .

Il margine di valori N_{10} (n° di colpi per un avanzamento di 10 cm) che si ritiene utile perché la prova possa fornire dei risultati validi è compreso tra un minimo 4 ed un massimo di 80.

5.1.4 Ubicazione punti di indagine DIN

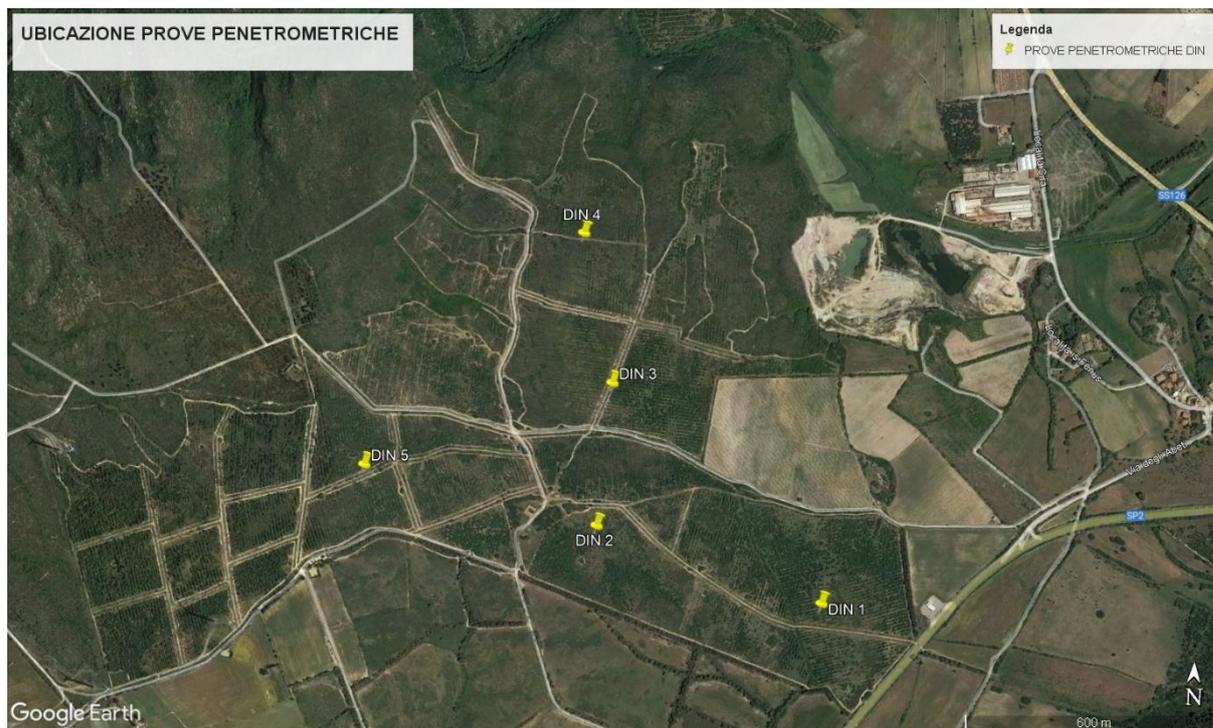


Figura 5.1: Ubicazione dei punti di indagine DIN

UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE COORDINATE CHILOMETRICHE UTM WGS84		
Denominazione	Coordinate est	Coordinate nord
DIN 1	454 383	4 337 315
DIN 2	453 826	4 337 485
DIN 3	453 850	4 337 835
DIN 4	453 766	4 338 199
DIN 5	453 252	4 337 610

Parametri riassuntivi delle prove penetrometriche

DIN 1

Prof. Strato (m)	N DPM Medio	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media (Kg/cm ²)	Nspt Medio	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.5	38	0.753	138.38	28	2.11	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia addensata con ghiaia
0.6	84	0.753	305.89	63	2.31	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN 2

Prof. Strato (m)	N DPM Medio	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media (Kg/cm ²)	Nspt Medio	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.2	31	0.753	112.89	23	2.05	2.46	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia addensata
0.7	80.8	0.753	289.83	60	2.29	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN 3

Prof. Strato (m)	N DPM Medio	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media (Kg/cm ²)	Nspt Medio	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.5	83.6	0.753	304.43	62	2.3	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN 4

Prof. Strato (m)	N DPM Medio	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media (Kg/cm ²)	Nspt Medio	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.2	94.5	0.753	344.12	71	2.42	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia addensata
0.6	37	0.753	134.74	27	2.1	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia con limo
0.8	79.5	0.753	273.3	59	2.28	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

DIN 5

Prof. Strato (m)	N DPM Medio	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media (Kg/cm ²)	Nspt Medio	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.1	29	0.753	105.6	21	2.01	2.41	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia limosa
0.4	81.33	0.753	296.18	61	2.3	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

Repertorio Fotografico esecuzione prova penetrometrica



Figura 5.2: DIN 1



Figura 5.3: DIN 2



Figura 5.4: DIN 3



Figura 5.5: DIN 4



Figura 5.6: DIN 5

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un software dedicato che calcola in automatico il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981), permette inoltre estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Al fine di ottenere dei dati quanto più possibili esaustivi si è optato per l'utilizzo contemporaneo di più metodologie di calcolo dei parametri geotecnici in funzione dei terreni attraversati.

Di seguito vengono esposti i diversi metodi di calcolo utilizzati per ottenere la parametrizzazione geotecnica dei terreni:

6.1 CORRELAZIONE GEOTECNICA TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito

Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.

De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .

Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).

Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.

Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .

Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.

Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

• Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Meyerhof (1957).

Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (Ey)

Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.

Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .

Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.

D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

Classificazione A.G.I.

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (Ko)

Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

6.2 CORRELAZIONI GEOTECNICHE TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
(U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu- Nspt-grado di plasticità).
Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm²) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm²) (valori minimi), valida per argille NC.
Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) - Coesione non drenata Cu (Kg/cm²), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
Begemann.
De Beer.

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali.
Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cm²)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

Modulo Di Young (EY)

Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15

D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{spt}=0$) a 0,545 ($N_{spt}=28$)

6.3 SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.5	28.0	Incoerente	2.11	2.5	35.00	0	84.98	215.0	0.3	1490.19
2	0.6	63.0	Incoerente	2.31	2.5	45.00	0	156.87	390.0	0.23	3193.7

DIN 2

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.2	23.0	Incoerente	2.05	2.46	33.57	0	74.71	190.0	0.31	1238.62
2	0.7	60.0	Incoerente	2.29	2.5	44.14	0	150.71	375.0	0.23	3050.53

DIN 3

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.5	62.0	Incoerente	2.3	2.5	44.71	0	154.81	385.0	0.23	3146.02

DIN 4

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.2	71.0	Incoerente	2.42	2.5	47.29	0	173.3	430.0	0.21	3573.52
2	0.6	27.0	Incoerente	2.1	2.5	34.71	0	82.92	210.0	0.3	1440.11
3	0.8	59.0	Incoerente	2.28	2.5	43.86	0	148.65	370.0	0.23	3002.72

DIN 5

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m ³)	Gamma Saturo (t/m ³)	Fi (°)	Cu (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)
1	0.1	21.0	Incoerente	2.01	2.41	33.00	0	70.6	180.0	0.31	1137.1
2	0.4	61.0	Incoerente	2.3	2.5	44.43	0	152.76	380.0	0.23	3098.3

6.4 CARATTERISTICHE DELLO STRUMENTO

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DeepDrill DM30

CARATTERISTICHE TECNICHE : DeepDrill DM30

	DIMENSIONI E PESI	
	Centralina oleodinamica	
Colonna di guida ed estrattore idraulico		Kg 29
Apparato d'infissione		Kg 14
Masse battenti		Kg 30
Asta Ø 22x1000 mm		Kg 3,0
Rivestimento Ø 30x1000 mm		Kg 1,7
Peso complessivo DM30 con dotazione standard		Kg 157

PESO MASSA BATTENTE	M	= 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	= 0,20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms	= 16,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA "A"	D	= 35,70 mm
DIAMETRO PUNTA CONICA "B"	D	= 25,40 mm
AREA BASE PUNTA CONICA "A"	A	= 5,00 cm ²
AREA BASE PUNTA CONICA "B"	A	= 10,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA		= 60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	= 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma	= 2,23 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1	= 0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA		= 0,10 m
Relativo ad un avanzamento di 10 cm		
NUMERO DI COLPI PUNTA	N	= N(10)
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO	
ENERGIA SPECIFICA x COLPO "A"	Q	= (MH)/(A) = 6,00 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
ENERGIA SPECIFICA x COLPO "B"	Q	= (MH)/(A) = 12,00 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	t	= Q/Qspt = 1,505 (teoricamente: Nspt = tN)
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	t	= Q/Qspt = 1,505
(teoricamente : Nspt = t N)		

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE):

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A e (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A] M = peso massa battente (altezza caduta H)

e = infissione per colpo = / N P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)
1 kg/cm ² = 0.098067 MPa ≈ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m ² = 10.197 kg/cm ²
1 bar = 1.0197 kg/cm ² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

6.4.1 PROVA DIN1

Strumento utilizzato...	Deep Drill DM30 10cmq
Prova eseguita in data	07/07/2023
Profondità prova	.60 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	29	0.757	79.90	105.60	3.99	5.28
0.20	54	0.655	128.73	196.64	6.44	9.83
0.30	41	0.653	97.45	149.30	4.87	7.47
0.40	37	0.701	94.42	134.74	4.72	6.74
0.50	29	0.749	79.08	105.60	3.95	5.28
0.60	84	0.647	197.91	305.89	9.90	15.29

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 1

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	28	0.50	28	Gibbs & Holtz 1957	65.89
Strato 2	63	0.60	63	Gibbs & Holtz 1957	88.38

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	28	0.50	28	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	35
Strato 2	63	0.60	63	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	45

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	28	0.50	28	Bowles (1982) Sabbia Media	215.00
Strato 2	63	0.60	63	Bowles (1982) Sabbia Media	390.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)



Strato 1	28	0.50	28	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	84.98
Strato 2	63	0.60	63	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	156.87

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	28	0.50	28	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAM ENTE ADDENSATO
Strato 2	63	0.60	63	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 1	28	0.50	28	Meyerhof ed altri	2.11
Strato 2	63	0.60	63	Meyerhof ed altri	2.31

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 1	28	0.50	28	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
Strato 2	63	0.60	63	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	28	0.50	28	(A.G.I.)	0.3
Strato 2	63	0.60	63	(A.G.I.)	0.23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	28	0.50	28	Ohsaki (Sabbie pulite)	1490.19
Strato 2	63	0.60	63	Ohsaki (Sabbie pulite)	3193.70

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ³)



Strato 1	28	0.50	28	Navfac 1971-1982	5.33
Strato 2	63	0.60	63	Navfac 1971-1982	10.62

6.4.2 PROVA DIN 2

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq

Prova eseguita in data 07/07/2023

Profondità prova .70 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	24	0.757	66.12	87.40	3.31	4.37
0.20	38	0.705	97.51	138.38	4.88	6.92
0.30	64	0.653	152.11	233.06	7.61	11.65
0.40	89	0.651	210.91	324.09	10.55	16.20
0.50	74	0.649	174.85	269.47	8.74	13.47
0.60	69	0.647	162.57	251.26	8.13	12.56
0.70	108	0.645	239.53	371.28	11.98	18.56

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 2

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	23	0.20	23	Gibbs & Holtz 1957	61.51
Strato 2	60	0.70	60	Gibbs & Holtz 1957	87.44

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	23	0.20	23	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	33.57
Strato 2	60	0.70	60	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	44.14

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)



Strato 1	23	0.20	23	Bowles (1982) Sabbia Media	190.00
Strato 2	60	0.70	60	Bowles (1982) Sabbia Media	375.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	23	0.20	23	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	74.71
Strato 2	60	0.70	60	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	150.71

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	23	0.20	23	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	60	0.70	60	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 1	23	0.20	23	Meyerhof ed altri	2.05
Strato 2	60	0.70	60	Meyerhof ed altri	2.29

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 1	23	0.20	23	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.46
Strato 2	60	0.70	60	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	23	0.20	23	(A.G.I.)	0.31
Strato 2	60	0.70	60	(A.G.I.)	0.23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)



Strato 1	23	0.20	23	Ohsaki (Sabbie pulite)	1238.62
Strato 2	60	0.70	60	Ohsaki (Sabbie pulite)	3050.53

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ³)
Strato 1	23	0.20	23	Navfac 1971-1982	4.56
Strato 2	60	0.70	60	Navfac 1971-1982	9.92

6.4.3 PROVA DIN 3

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq

Prova eseguita in data 07/07/2023

Profondità prova .50 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	80	0.657	191.28	291.32	9.56	14.57
0.20	94	0.655	224.08	342.30	11.20	17.12
0.30	78	0.653	185.39	284.04	9.27	14.20
0.40	68	0.651	161.15	247.62	8.06	12.38
0.50	98	0.649	231.56	356.87	11.58	17.84

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 3

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	62	0.50	62	Gibbs & Holtz 1957	90.01

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	62	0.50	62	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	44.71

Modulo di Young



	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	62	0.50	62	Bowles (1982) Sabbia Media	385.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	62	0.50	62	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	154.81

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	62	0.50	62	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 1	62	0.50	62	Meyerhof ed altri	2.30

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 1	62	0.50	62	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	62	0.50	62	(A.G.I.)	0.23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	62	0.50	62	Ohsaki (Sabbie pulite)	3146.02

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ³)
Strato 1	62	0.50	62	Navfac 1971-1982	10.37

6.4.4 PROVA DIN 4

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq

Prova eseguita in data 07/07/2023

Profondità prova .80 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	92	0.657	219.97	335.02	11.00	16.75
0.20	97	0.655	231.23	353.23	11.56	17.66
0.30	57	0.653	135.48	207.57	6.77	10.38
0.40	35	0.701	89.32	127.45	4.47	6.37
0.50	27	0.749	73.63	98.32	3.68	4.92
0.60	29	0.747	78.89	105.60	3.94	5.28
0.70	59	0.645	130.86	202.83	6.54	10.14
0.80	100	0.643	221.16	343.77	11.06	17.19

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 4

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	71	0.20	71	Gibbs & Holtz 1957	95.91
Strato 2	27	0.60	27	Gibbs & Holtz 1957	63.72
Strato 3	59	0.80	59	Gibbs & Holtz 1957	84.95

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	71	0.20	71	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	47.29
Strato 2	27	0.60	27	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	34.71
Strato 3	59	0.80	59	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	43.86

Modulo di Young



	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	71	0.20	71	Bowles (1982) Sabbia Media	430.00
Strato 2	27	0.60	27	Bowles (1982) Sabbia Media	210.00
Strato 3	59	0.80	59	Bowles (1982) Sabbia Media	370.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	71	0.20	71	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	173.30
Strato 2	27	0.60	27	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	82.92
Strato 3	59	0.80	59	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	148.65

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	71	0.20	71	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO
Strato 2	27	0.60	27	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	59	0.80	59	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 1	71	0.20	71	Meyerhof ed altri	2.42
Strato 2	27	0.60	27	Meyerhof ed altri	2.10
Strato 3	59	0.80	59	Meyerhof ed altri	2.28

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 1	71	0.20	71	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50



Strato 2	27	0.60	27	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
Strato 3	59	0.80	59	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	71	0.20	71	(A.G.I.)	0.21
Strato 2	27	0.60	27	(A.G.I.)	0.3
Strato 3	59	0.80	59	(A.G.I.)	0.23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	71	0.20	71	Ohsaki (Sabbie pulite)	3573.52
Strato 2	27	0.60	27	Ohsaki (Sabbie pulite)	1440.11
Strato 3	59	0.80	59	Ohsaki (Sabbie pulite)	3002.72

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ³)
Strato 1	71	0.20	71	Navfac 1971- 1982	11.93
Strato 2	27	0.60	27	Navfac 1971- 1982	5.18
Strato 3	59	0.80	59	Navfac 1971- 1982	9.70

6.4.5 PROVA.DIN 5

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq

Prova eseguita in data 07/07/2023

Profondità prova .40 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammisibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammisibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	29	0.757	79.90	105.60	3.99	5.28
0.20	67	0.655	159.72	243.98	7.99	12.20
0.30	77	0.653	183.01	280.40	9.15	14.02
0.40	100	0.651	236.98	364.15	11.85	18.21

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 5

TERRENI INCOERENTI



Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	21	0.10	21	Gibbs & Holtz 1957	59.41
Strato 2	61	0.40	61	Gibbs & Holtz 1957	89.58

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	21	0.10	21	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	33
Strato 2	61	0.40	61	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	44.43

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	21	0.10	21	Bowles (1982) Sabbia Media	180.00
Strato 2	61	0.40	61	Bowles (1982) Sabbia Media	380.00

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	21	0.10	21	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	70.60
Strato 2	61	0.40	61	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	152.76

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	21	0.10	21	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	61	0.40	61	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 1	21	0.10	21	Meyerhof ed altri	2.01
Strato 2	61	0.40	61	Meyerhof ed altri	2.30

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
Strato 1	21	0.10	21	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.41
Strato 2	61	0.40	61	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	21	0.10	21	(A.G.I.)	0.31
Strato 2	61	0.40	61	(A.G.I.)	0.23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	21	0.10	21	Ohsaki (Sabbie pulite)	1137.10
Strato 2	61	0.40	61	Ohsaki (Sabbie pulite)	3098.30

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm ³)
Strato 1	21	0.10	21	Navfac 1971-1982	4.22
Strato 2	61	0.40	61	Navfac 1971-1982	10.14

6.5 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Sulla base della stratigrafia locale generale nota da dati di letteratura supportata dall'esecuzione di specifiche indagini, hanno permesso la definizione del modello geologico tipico dei siti degli aerogeneratori in progetto, atto a definire il volume significativo di terreno influenzato dalle fondazioni delle opere in progetto.

I valori geotecnici indicati sono basati sull'osservazione dell'andamento delle indagini eseguite in un determinato sito, e precedentemente descritte.

I valori geotecnici di riferimento indicati in stratigrafia sono stati mediati dallo scrivente, eventualmente ridotti rispetto a quanto ottenuto dalle correlazioni empiriche precedentemente illustrate al fine di poter ottenere un modello geotecnico veritiero, ma ragionevolmente cautelativo del sito studiato.

6.6 STRATIGRAFIA SCHEMATICA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Nelle tabelle sottostanti viene rappresentata la ricostruzione stratigrafica con parametrizzazione geotecnica dei siti interessati dalle opere in progetto.

I parametri rappresentati nelle tabelle sono:

- P: profondità strato (tetto-letto)
- γ : Peso unità di volume (kg/m³);

- ϕ : Angolo di attrito ($^{\circ}$);
- C: Coesione (kg/m^3);
- C_u : Coesione non drenata (kg/m^3);
- Ed: Modulo Edometrico (kg/m^3);
- E_y : Modulo Elastico (kg/m^3);

6.7 STRATIGRAFIA AREA DI SEDIME TIPICA

L'analisi delle prove penetrometriche eseguite, combinata con un sopralluogo che ha permesso di definire la stratigrafia locale, hanno permesso, tramite specifiche correlazioni empiriche, di poter fornire una stratigrafia di dettaglio e una parametrizzazione geotecnica di massima del substrato ingegneristicamente significativo per le opere in progetto.

Pertanto, sulla base di quanto premesso, la litostratigrafia e la relativa parametrizzazione geotecnica ha il solo scopo di verificare che il terreno tipo di sedime che ospiterà le opere per la realizzazione del parco fotovoltaico, possa essere effettivamente in grado di poter sostenere i carichi indotti dalle fondazioni, senza cedimenti tali da poter comprometterne la stabilità.

In caso di progettazione definitiva si provvederà a svolgere una esaustiva campagna di indagini per ogni sito in modo da poter procedere ad una puntuale ed accurata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica.

I parametri geotecnici indicati nella tabella sottostante, sono stati ottenuti utilizzando i valori caratteristici, in alcuni casi ulteriormente ridotti in via cautelativa dallo scrivente, in modo da poter essere ragionevolmente certi che i valori utilizzati nella progettazione strutturale siano ampiamente verificati.

Per il livello terrigeno (suoli) si è cautelativamente posto coesione nulla, trattando le terre come esclusivamente incoerenti.

Per il substrato lapideo si sono utilizzati dei valori notevolmente ridotti rispetto a quanto ottenute con le formule empiriche precedentemente illustrate.

Tabella 6.1– Stratigrafia geologica e geotecnica di massima

STRATO	PARAMETRI		VALORI CARATTERISTICI
Depositi alluvionali da 0 a -5 m	peso di volume	γ	20.0 kN/mc
	peso di volume saturo	γ_s	24.0 kN/mc
	Coesione	c'	0.0 kPa
	Angolo attrito	ϕ'	30°
	Coesione non drenata	C_u	0.0 kPa
	Modulo Edometrico	Ed	70 MPa
	Modulo Elastico	E_y	120 MPa

6.8 PIANI DI INDAGINE PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Come riportato nelle premesse di questa relazione preliminare, i caratteri geolitologici, geotecnici e la configurazione stratigrafica del sito d'intervento, che hanno rivestito forma preliminare ed il più possibile verosimile in questa fase, sulla base delle fonti a disposizione e delle indagini eseguite, saranno ulteriormente definiti, e con maggior dettaglio, a seguito dei risultati di indagini geognostiche e geotecniche da eseguirsi in sito ed in laboratorio.

La tipologia di lavorazioni e di opere da realizzarsi, in termini di carichi trasmessi al terreno, possono essere correlati essenzialmente alla realizzazione della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle opere infrastrutturali connesse (uffici, cabine elettriche di trasformazione, distribuzione, ecc.),



indicano che la profondità da indagare in maniera diretta attraverso la realizzazione di pozzetti geognostici da eseguirsi con escavatore a braccio rovescio, e sondaggi geognostici da ubicare nei siti geologicamente più rappresentativi e laddove si ha intenzione di realizzare le opere necessarie.

La profondità d'indagine si presume possa essere di circa 3 m per i pozzetti geognostici, ma si ha intenzione anche di realizzare dei sondaggi geognostici fino ad una profondità di 10 m dal piano di campagna, anche al fine di definire l'eventuale presenza di acquiferi freatici. Con prelievo di campioni negli orizzonti attraversati più significativi, da esaminare in laboratorio geotecnico.

Si presume che le fondazioni andranno a poggiare su di un substrato costituito da alluvioni pleistocenico da molto ad estremamente addensate. La caratterizzazione geotecnica si baserà pertanto principalmente su prove adatte a materiali terrosi.

Nel caso in cui il sondaggio geognostico intercetti una falda superficiale, si provvederà ad allestire un piezometro per il monitoraggio della stessa al fine di definire eventuali interazioni con la fondazione stessa.

Risulta necessario, a supporto della predisposizione della relazione sismica (definizione della risposta sismica locale del sottosuolo secondo le NTC 2018), oltre che per una più completa caratterizzazione e distinzione geo-stratigrafica del sottosuolo, la realizzazione di indagini sismiche atte a definire l'andamento delle Vs in profondità (p.e. tramite il metodo MASW), da ubicare in modo da investigare esaustivamente l'area in cui verranno realizzate le strutture atte al sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle infrastrutture che dovranno essere realizzate.

Al fine di definire l'andamento stratigrafico con adeguato dettaglio dell'intera area di sedime, verranno eseguite, nei siti ritenuti stratigraficamente più significativi, delle sezioni sismiche a rifrazione in modalità tomografica, in modo da poter definire con adeguato dettaglio l'intero sito di sedime, correlando la stratigrafia delle indagini dirette con le risultanze sismiche ed estendere il valore puntuale dell'indagine geognostica.

Risulta utile la realizzazione di ulteriori prove penetrometriche dinamiche DPSH, al fine di determinare la capacità portante dei terreni.

Per il corretto dimensionamento degli impianti di messa a terra e avere una stima della corrosività dei suoli, si provvederà ad eseguire delle indagini geoelettriche, atte a poter misurare la resistività del terreno. Per quanto riguarda la misura della resistività dei suoli si propone che vengano eseguite sempre con la configurazione di Wenner ma in modalità tomografica. In questo modo vengono eseguite in automatico delle misure di resistività, le quali sono poi elaborate con specifico software in grado di restituire non solo la resistività del suolo ma anche una stratigrafia 2D, utili nella definizione dell'assetto geologico di dettaglio dei siti d'interesse. Se alle misure di resistività vengono abbinate anche delle misure di caricabilità (Polarizzazione Indotta) si possono avere anche ulteriori informazioni sull'assetto idrogeologico locale. La profondità d'indagine presunta per questo tipo di indagine è di circa 20 m per una lunghezza dello stendimento geoelettrico di 126 m.

Per il raggiungimento degli obiettivi sopra esposti, si prevede di impostare il seguente piano di indagini:

- Realizzazione di pozzetti geognostici a braccio rovescio con profondità minima di 3 m dal piano di campagna;
- Realizzazione di pozzetti sondaggi a carotaggio continuo (diam. 101 mm): realizzazione di perforazioni con profondità di 10 m dal piano di campagna;
- Prove di laboratorio su terre:
 - esecuzione di prove di taglio diretto con scatola di Casagrande;
 - prove edometriche su campioni coesivi;
 - determinazione dei limiti di Atterberg con analisi granulometrica;
- Prove di laboratorio su roccia (eventuali):



- esecuzione di prove di carico concentrato Point Load Test;
- esecuzione determinazione di massa volumica;
- Prove in sito:
 - esecuzione di SPT in fori di sondaggio;
 - esecuzione di DPSH;
 - esecuzione di indagini sismiche a rifrazione con modalità tomografica;
 - esecuzione di indagini geoelettriche per la definizione della resistività dei suoli.

Tale lista costituisce un elenco indicativo e non esaustivo, ci si riserva di aggiornare le indagini proposte sulla base delle risultanze che si avranno dalle perforazioni a carotaggio.



7. CONCLUSIONI

in un contesto caratterizzato da affioramenti alluvionali pleistocenici, estremamente addensati e di notevole spessore.

La stratigrafia litotecnica di riferimento dell'area di sedime è stata ottenuta mediante l'esecuzione di cinque prove penetrometriche dinamiche, atte a definire lo stato di addensamento delle terre e poter ottenere una parametrizzazione geotecnica di massima basata su correlazioni empiriche.

Le opere in progetto sono ubicate su un terrazzo alluvionale in cui si riscontra una copertura di suoli piuttosto sottile che ricopre un substrato alluvionale costituito dal subsistema di Portoscuso (Sistema di Portovesme), che presenta un andamento piuttosto omogeneo nel sito investigato.

L'analisi del pericolo geologico per il sito in studio si è basata anche sullo studio di maggior dettaglio eseguito nelle more dell'Art. 8 delle Norme di Attuazione del PAI, evidenziando un contesto geomorfologico stabile rispetto a fenomeni di dissesto gravitativo, inoltre non si rilevano possibili future alterazioni del deflusso delle acque di scorrimento superficiale.

È possibile che durante precipitazioni particolarmente intense si creino fenomeni di erosione diffusa e concentrata, per via della morfologia leggermente ondulata del sito. Pertanto è opportuno dare adeguata attenzione al controllo delle acque di scorrimento superficiale.

L'assetto idrogeologico sotterraneo non si ritiene che potrà essere alterato dalla realizzazione delle opere, poiché non si sono avuti riscontri della presenza di acquiferi superficiali che possano essere interessati dalle opere in progetto, ad ogni modo si dovrà avere la massima attenzione affinché eventuali emergenze idriche vengano verificate durante l'esecuzione della campagna di indagini geognostiche per l'eventuale progettazione definitiva.

Sulla base di quanto precedentemente esposto, il substrato alluvionale destinato ad ospitare le fondazioni delle opere in progetto si presenta, nel suo complesso, in grado di poter sostenere i carichi indotti senza particolari deformazioni o cedimenti.

Nel complesso, in questa fase di studio, non sono emersi elementi ostativi per quanto riguarda l'esecuzione del progetto in esame.