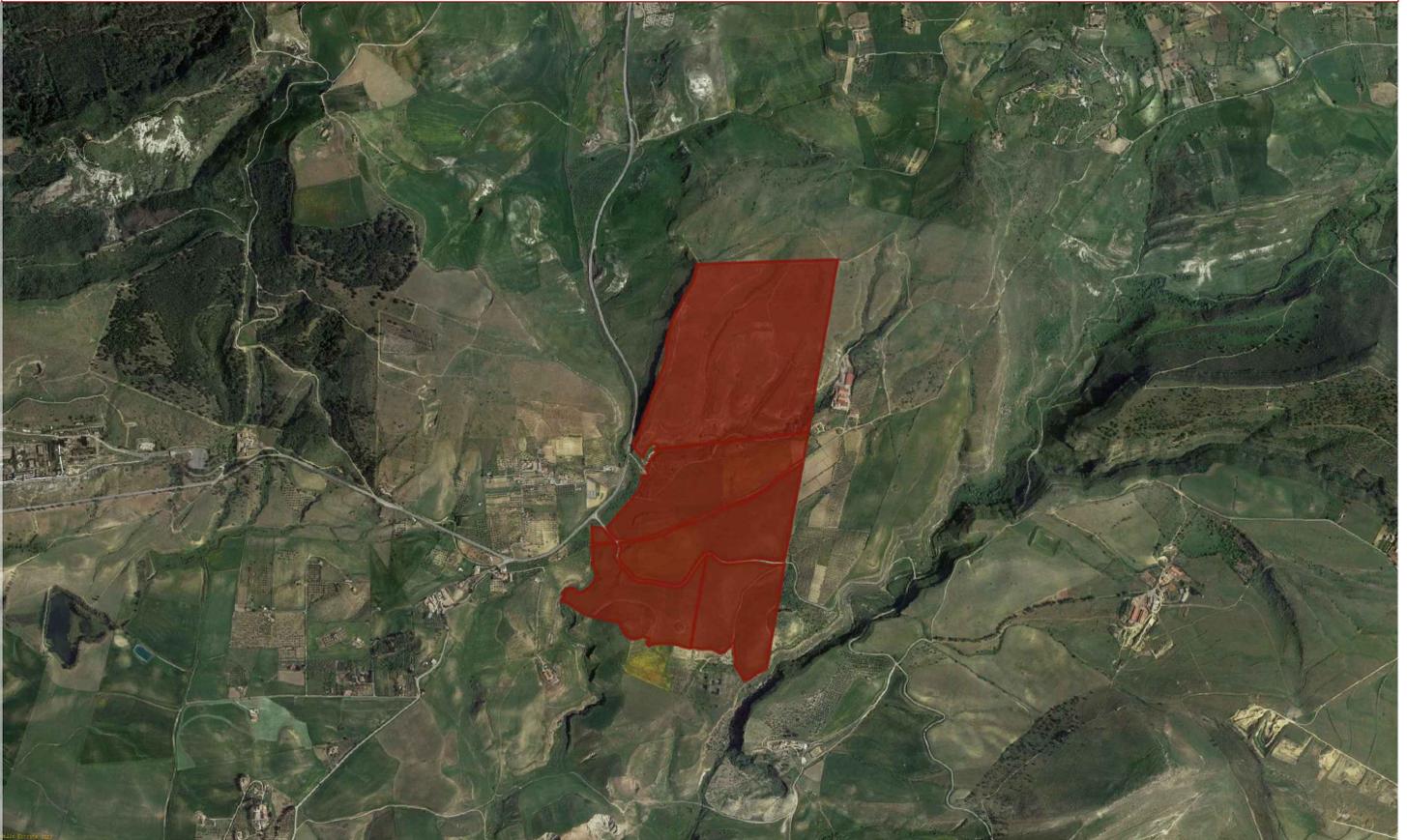


Provincia di ENNA - Comune di ENNA



OGGETTO REVISIONE

Committente:

X-ELIO

X-ELIO ENNA 2 S.r.l.
Corso Vittorio Emanuele, 349
00186 Roma
P.IVA.: 17129771006
www.x-elio.com

Sviluppo e Progettazione esecutiva:



GEOSTUDIOGROUP S.T.P. - S.R.L.

GEOSTUDIOGROUP STP S.r.l.
Via Dott. Lino Blundo n.3
97100 Ragusa (RG)
P.IVA:01635940883
www.geostudiogroup.net

OPERA:

Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico denominato "ENNA 2" della potenza di 42 MW in A.C. e 50 MWp in D.C. con sistema di accumulo integrato da 21 MW e di tutte le opere connesse ed infrastrutture da realizzarsi nel Comune di Enna (EN).

UBICAZIONE IMPIANTO

**Contrada Salsello
Enna (EN)**

DATA:

08/08/2023

SCALA:

-

TITOLO: Relazione geologica e geologico tecnica

I GEOLOGI

DOTT. FRANCO PRIVITERA GAROZZO

DOTT. GIOVANNI OCCHIPINTI

PROGETTISTA P.P.V.

INDICE ANALITICO

PARTE PRIMA

- **PREMESSA**
- **INDAGINI ESPLETATE**
- **NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

PARTE SECONDA

- **LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI**
- **LINEAMENTI IDROGEOLOGICI**
- **LINEAMENTI GEOLOGICI**
- **GEOLOGICO TECNICA – STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO**
- **GEOTECNICA**

PARTE TERZA

- **LINEAMENTI TETTONICI**
- **CLASSIFICAZIONE SISMICA**

PARTE QUARTA

- **CONCLUSIONE**

ALLEGATI

CARTA GEOLOGICA E TEMATICHE - SCALA 1:10.000 E 1:2.000
CARTOGRAFIA PAI
REPORT INDAGINI PENETROMETRICHE
REPORT INDAGINI SISMICHE HVSR

PARTE PRIMA

PREMESSA

Su incarico della X-ELIO ENNA 2 S.r.l., i sottoscritti Dott. Geol. Franco Privitera Garozzo e Dott. Geol. Giovanni Occhipinti, hanno effettuato lo studio geologico e della pericolosità sismica definitivo del terreno di fondazione per il progetto definitivo dell'impianto solare fotovoltaico e delle relative opere di connessione da realizzare nel comune di Enna in c.da Salsello di potenza nominale pari a 50,076 MWp denominato "Enna2".



Ubicazione sito da satellite

L'area d'intervento ricade topograficamente nella tavoletta I quadrante SO del Foglio 268 della carta d'Italia dell'I.G.M. alla scala 1:25000 e denominata "Enna"; altimetricamente si trova ad una di circa 455-666 metri circa s.l.m..

Dal punto di vista urbanistico, l'area di intervento progettuale, sita in C.da Salsello, risulta distinta in Catasto Terreni del Comune di Enna al Foglio 194, p.lle 4, 5, 8, 9, 92, 12, e foglio 195 p.lle 19 e 193, per una superficie catastale pari a circa 1.190.000 mq; l'intera area di cui si chiede l'aggiornamento del PAI risulta distinta in Catasto Fabbricati del Comune di Enna al Foglio 194, p.lle 26, 160, 128, 184, 166, 98 e 194, ed in Catasto Terreni del Comune di Enna al Foglio 194, p.lle 1, 152, 13, 178, 156, 94, 122, 123, 124, 125, 672, 673, 245, 674, 151, 22, 150, 70, 117, 118, 120, 121, 21, 14, 104, 105, 106, 19, 95, 173, 15, 16, 107, 110, 108, 111, 17, 136, 137, 138, 139, 133,

182, 183, 134, 165, 112, 17, 18, 126, 76, 96, 175, 159, 161, 162, 164, 141, 145, 167, 168, 150, 170, 171, 172, 142, 143, 114, 115, 169, 116, 81, 97, 151, 152, 113, 147, 148, 154, 155, 156, 178, 179 e 18, della superficie catastale pari a circa 2,2 km² Si riporta di seguito l'area catastale in oggetto.

Per quanto riguarda la zonizzazione urbanistica, l'area oggetto dell'intervento agrovoltatico ricade in zona "E - aree di verde agricolo" – art. 67 delle N.T.A. allegate al P.R.G. approvato con delibera d'adozione N°108 del 5-12-2017, avviso di deposito pubblicato in G.U.R.S. Parte II e III n. 8 del 23 - 02 - 2018, quale adeguamento alla Delibera di adozione del Commissario ad Acta n. 108 del 05 dicembre 2017, per come individuato nella Tavola D1.10, dove alcuni fabbricati ricadenti all'interno dell'area oggetto di intervento sono definiti "beni monumentali di interesse storico ambientale".

Dal punto di vista dei vincoli di tutela e salvaguardia del territorio e del paesaggio, l'area di che trattasi ricade all'interno:

□ del sito di attenzione del P.A.I. (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico) ai sensi dell'art.1 D.L. n. 180/98 convertito con modifiche con la L. n. 267/98 e ss. mm. ii., per come individuato nella Carta Dei Dissesti n. 32 - Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale (072) - Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale (071);

□ della fascia di rispetto dei fiumi e dei laghi ai sensi della Legge 8 agosto 1985, n. 431 oggi art. 142 - Aree tutelate per legge del D.P.R. 22/01/2004, n. 42;

Inoltre, prospicienti i due torrenti ricade all'interno della "fascia di rispetto dei boschi" e delle "aree instabili interessate da fenomeni di soliflusso, colamento, esondazione e crolli, non idonee a insediamenti antropici".

Infine, anche se non espressamente normato, appare evidente che l'area è attraversata da un tracciato definito "acquedotto".

INDAGINI ESPLETATE

Lo studio geologico-tecnico è stato condotto attraverso tre fasi: la prima è stata il rilevamento geologico, svoltosi in zona, supportato da ricerche cartografiche e bibliografiche, per una

ricostruzione morfologica, idrologica, idrogeologica e litostratigrafica della zona in esame. La seconda fase è consistita nella stima dei parametri geologici e geotecnici attraverso l'acquisizione di dati provenienti da indagini geognostiche in sito e analisi di laboratorio. La campagna di indagini geognostiche dirette ed indirette è stata strutturata come di seguito.

Indagini geognostiche dirette e di laboratorio

La campagna di indagini geognostiche dirette, effettuate dalla SGM di Catania, è stata così articolata:

Modellazione Litostratigrafica
n. 20 Sondaggi a carotaggio continuo
Modellazione Geotecnica in sito
n. 18 Prove S.P.T.
n. 14 Campioni indisturbati Q1
n. 3 Campioni disturbati Q4
Modellazione geotecnica in laboratorio
Contenuto d'acqua, determinazione peso di volume e peso specifico
Granulometria
Limiti di Atterberg
Prova di taglio diretto
Prove ELL

I 20 sondaggi a carotaggio continuo per uno sviluppo lineare complessivo di 170,00 m ed in particolare

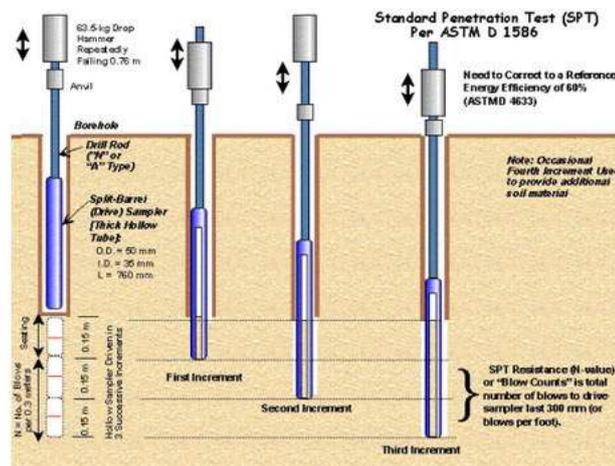
Sondaggio	Profondità (m.)
S1	10,00
S2	10,00
S3	10,00
S4	10,00
S5	10,00
S6	10,00
S7	10,00
S8	10,00
S9	10,00
S10	10,00
S11	10,00
S12	10,00
S13	10,00
S14	10,00
S15	5,00
S16	5,00
S17	5,00
S18	5,00
S19	5,00
S20	5,00

L'ubicazione delle prove dirette (perforazioni e SPT) sono di seguito riportate:



Durante le perforazioni non si sono riscontrate discontinuità che facciano presumere la presenza di cavità sotterranee.

Sono state eseguite n. 18 prove S.P.T. facendo riferimento a "Standard" esistenti: ASTM 1586, "Penetration Test an Split Barrel Sampling of Soil"



Le caratteristiche strumentali possono essere così schematizzate:

- campionatore \varnothing 50.8 - 35.0 mm;
- L utile = 630 mm munito di valvola a sfera alla sommità;
- massa battente di peso 63.5 kg con altezza di caduta di 76.20 cm;
- aste da 50 mm. collegate al campionatore aventi peso per metro lineare 8.00 kg/m;
- la caduta libera del maglio viene comandata da un particolare dispositivo di sganciamento automatico che lo libera all'altezza voluta;
- fra testa di battuta in sommità alle aste e il piano campagna è stato installato un centratore di guida ad irrigidimento delle aste stesse;
- la differenza tra il diametro esterno delle aste ed il diametro interno della tubazione

metallica

provvisoria di rivestimento è di 60 mm;

- come utensile di penetrazione, in funzione della granulometria grossolana presente, è stata utilizzata una punta conica \varnothing 51 mm, ed angolo 60°

La prova consiste nell'infiggere nel terreno, alla base del sondaggio la punta conica o il campionatore per tre tratti consecutivi ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessari per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm.

Il valore NSPT è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2 e il 3 tratto.

Prima di eseguire la prova viene controllata, con adeguato scandaglio, la quota del foro confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta.

L'avvenuto affondamento della punta per peso proprio e delle aste fa parte integrante dei 45 cm complessivi di infissione.

Sondaggio	Quota (m)	Numero colpi
S 1	1.50-1.95	11-17-21
S 2	1.50-1.95	6-7-10
S 3	1.50-1.95	7-11-18
S 4	1.50-1.95	7-14-20
S 5	1.50-1.95	11-16-20
S 6	2.00-2.45	7-10-11
S 7	1.50-1.95	3-3-3
S 8	1.50-1.95	3-4-5
S 9	1.50-1.95	3-4-6
S 10	1.50-1.95	5-7-8
S 11	1.50-1.95	2-3-3
S 12	1.50-1.95	3-4-6
S 13	2.00-2.45	11-13-17
S 14	1.50-1.95	9-12-15
S 15	2.00-2.45	11-13-10
S 16	2.00-2.45	27-31-39

Sui campioni prelevati nelle perforazioni, state eseguite analisi e prove di laboratorio dal laboratorio Geotecnico Gi.Ga.Lab “SETTORE TERRE” D.P.R. 246/93 – Min. STC 349/99, al fine di caratterizzare geotecnicamente i campioni stessi. In particolare sono state effettuate le seguenti prove:

- n° 14 determinazioni del contenuto d'acqua;
- n° 14 determinazioni del peso di volume;
- n° 14 determinazioni del peso specifico dei granuli;
- n° 14 determinazioni dei limiti di Atterberg;

- n° 14 analisi granulometriche e densimetriche;
- n° 7 espansioni laterali libere (ELL);
- n° 14 prove di taglio diretto.

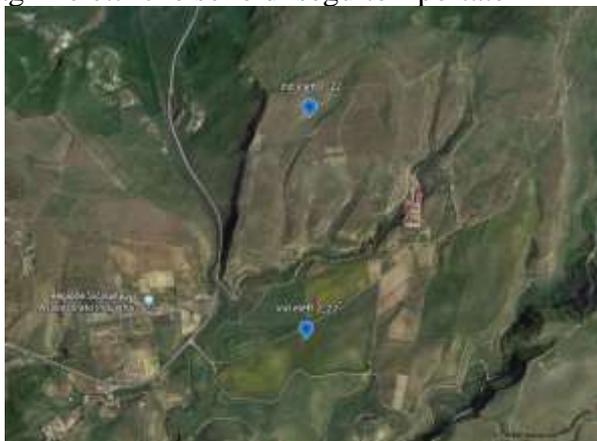
Il report delle perforazioni delle SPT e delle prove di laboratorio si riporta in allegato.

Indagini indirette

Tra le indagini di tipo indiretto, sono state effettuate n. 2 indagini di tipo geo-elettrico al fine di accertare le caratteristiche della resistività dei terreni del primo substrato e di individuare l'eventuale presenza di cavità carsiche.

L'indagine tomografica restituisce, infatti, l'interpretazione della variazione della resistività laterale evidenziando le zone a resistività inferiori litologicamente interpretabili come litotipi dove la porosità e le discontinuità/cavità, unita al quantitativo di liquidi che la impregna, influisce maggiormente sul deflusso delle correnti elettriche.

Le ubicazioni delle indagini elettriche sono di seguito riportate



Dai risultati delle indagini elettriche effettuate nei siti indicati non si evince la presenza di cavità sotterranee. Il report delle tomografia elettrica si riporta in allegato.

Inoltre, nell'area interessata dalle opere in progetto, è stata eseguita una campagna di indagine geofisica mediante n. 10 indagini sismiche HVSR effettuate nell'area interessata dal progetto, allo scopo di determinare le caratteristiche di risposta sismica locale e le condizioni geodinamiche del terreno di fondazione delle opere in oggetto. Le HVSR sono state così ubicate.



Dalle prove sismiche HVSR eseguite in loco, con offset a da 1,0 a 1,5 m, è stato ottenuto il seguente risultato:

HVSR 1 -- $V_s, eq(20m) = 288 \text{ m/s}$

HVSR 2 -- $V_s, eq(20m) = 319 \text{ m/s}$

HVSR 3 -- $V_s, eq(20m) = 328 \text{ m/s}$

HVSR 4 -- $V_s, eq(20m) = 331 \text{ m/s}$

HVSR 5 -- $V_s, eq(20m) = 323 \text{ m/s}$

HVSR 6 -- $V_s, eq(20m) = 329 \text{ m/s}$

HVSR 7 -- $V_s, eq(20m) = 323 \text{ m/s}$

HVSR 8 -- $V_s, eq(20m) = 326 \text{ m/s}$

HVSR 9 -- $V_s, eq(20m) = 336 \text{ m/s}$

HVSR 10 -- $V_s, eq(20m) = 327 \text{ m/s}$

Dalle indagini HVSR effettuate non si ravvisa la presenza di cavità ipogee e/o carsiche o di origine antropica, mentre la categoria di profilo stratigrafico del terreno di fondazione, secondo le N.T.C. D.M 17 gennaio 2018, è C ovvero “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di

velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s". Il report completo delle HVSR si riporta in allegato.

Tutte le indagini geognostiche, dirette ed indirette, sono state eseguite in conformità alle disposizioni tecniche per le indagini sui terreni e sulle rocce: N.T.C. D.M 17 gennaio 2018. Le risultanze di tali prove sono riportate nei rispettivi report.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- Norme tecniche per le costruzioni Legge 5 novembre 1971, n. 1086;
- Norme tecniche per le costruzioni Legge 2 febbraio 1974, n. 64;
- Norme tecniche per le costruzioni Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380;
- Norme tecniche per le costruzioni Decreto legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186;
- Norme tecniche per le Costruzioni 2018 Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018
- Eurocodice 7 Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- Eurocodice 8 Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

PARTE SECONDA

LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

I lineamenti morfologici del tutto il territorio preso in esame sono la conseguenza della loro conformazione generale ovvero degli effetti delle intense azioni tettoniche e delle forti azioni erosive che si sono verificate nel territorio sulla base delle diverse caratteristiche strutturali delle formazioni affioranti. Per cui, mentre i movimenti tettonici hanno prodotto dislocazioni di ampio respiro hanno dettato l'attuale assetto generale, le fenomenologie erosive hanno creato situazioni di modellazione disomogenee, che si manifestano nei terreni con modalità differente a secondo della stratigrafia interessata, ovvero più evidente negli orizzonti plastici calcareo marnosi, e in maniera più contenuta e meno appariscente nelle rocce lapidee.

Questa marcata diversificazione di genesi strutturale viene ancor più caratterizzata dalla cosiddetta erosione selettiva, ovvero dalla predisposizione congenita posseduta dalle formazioni presenti e dalla loro diverso comportamento nei confronti degli agenti morfogenetici rappresentati prevalentemente dalle acque di precipitazione meteorica. Ne deriva che le formazioni litologiche più competenti vengono erose in maniera meno marcata e tendono quindi a spiccare rispetto alle litologie sciolte o pseudocoerenti. Infatti, le azioni erosive sono bene evidenti in corrispondenza delle formazioni argillose-marnose e sabbiose, dove le acque selvagge dilavanti e incanalate esplicano una continua azione di intensa denudazione diffusa.

L'area in esame drena, verso sud, in direzione del Vallone Cateratta, immissario del Torrente o Fiume Torcicoda. L'intera area fa parte del bacino idrografico ed idrogeologico del Fiume Salso.

Nell'area in esame di c.da Salsello si osserva una tipico morfogenesi dovuta all'erosione differenziale in cui la monoclinale di Monte Salsello, formato esclusivamente dalle calcareniti di Capodarso mostra in affioramento ai piedi i termini sabbiosi-limosi.

Pertanto il modellamento geomorfologico del sito è il risultato dell'interazione di fattori strutturali (litologia e tettonica) e di fattori climatici che si sono succeduti nell'area in studio. Le formazioni affioranti nelle particelle sito dell'intervento possono essere divise in base al grado di coerenza in:

rocce coerenti, che presentano un buon grado di compattezza e rigidità (calcareniti)

rocce incoerenti , che sono sciolte e con coesione assente o residua (sabbie).

Di fatto, l'area dove è stato progettato l'agrovoltico, mostra una pendenza sostanzialmente influenzata dalle geostrutture e dalla litologia. Infatti la monoclinale di Monte Salsello mostra pendenze da medie ad acclivi su rocce calcarenitiche competenti, mentre la parte del sito di sedime maggiormente vicina al vicino torrente ha pendenze più blande.

Nella zona in esame, per quanto attiene le forme più diffuse di degradazione del reticolo idrografico più o meno superficiale ed i rispettivi processi generatori, distinguiamo, essenzialmente, i fossi di ruscellamento concentrato ed impluvi con ruscellamento diffuso.

I fossi corrispondono ad impluvi del reticolo idrografico lungo i quali confluiscono le acque di un bacino montano, che attivano una forma di erosione lineare concentrata che incide con maggiore intensità le rocce molto erodibili (rocce lapidee disgregate/alterate, rocce marnoso-argillose, le coperture detritiche).

In caso di pioggia battente e/o critica, in considerazione del fatto che hanno aste di lunghezza limitata, che si sviluppano lungo linee di massima pendenza con marcato dislivello, manifestano tempi di corrivazione pressoché istantanei e bassa capacità di erosione e di trasporto solido.

Il processo di ruscellamento diffuso è attivo in condizioni di piogge battenti, ossia quando il coefficiente di deflusso istantaneo è molto maggiore del coefficiente di infiltrazione. E' favorito dall'estensione, dall'acclività e dalla morfologia del versante, che presenta superfici topografiche spoglie di vegetazione ed in stato di degrado e di abbandono antropico.

In ultimo possono essere aggiunti le forme di dissesto dovute ai processi antropici. Sono forme e processi che si evolvono con l'attività umana con progressione spesso maggiore rispetto ai processi naturali. Nella zona in esame consistono essenzialmente nella insufficiente o trascurata manutenzione dei luoghi, soprattutto quelli più acclivi, che divengono oggetto di accentuati fenomeni di crescente degrado e disgregazione.

LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

L'area in esame fa parte del bacino idrogeologico del Fiume Salso. L'assetto idrogeologico della zona esaminata è costituito essenzialmente dai terreni permeabili per porosità rappresentati dalle sabbie di Capodarso e da terreni permeabili per fessurazione rappresentati dalle calcareniti della stessa Formazione.

Alle sabbie possono associarsi valori di permeabilità media, a secondo della percentuale di elementi limosi contenuti e del grado di cementazione.

I terreni permeabili per fessurazione generalmente elevata sono rappresentati dalle calcareniti; questi terreni sono permeabili principalmente per fessurazione e subordinatamente, in alcuni casi, per porosità. Nel caso delle calcareniti è legata, anche, alla frequenza estensione dei sistemi di fratture che generalmente interessano i singoli banchi e livelli calcarei.

L'acquifero del fiume Torcicoda presenta delle risorse idriche alquanto ridotte a causa dell'esiguo spessore dei sedimenti. La scarsa presenza di copertura alluvionale lungo l'alveo indica la prevalente azione erosiva e di trasporto esercitata dalle acque che vi scorrono.

Per quanto riguarda la presenza di acqua nell'area in progetto, due sondaggi sono stati armati con piezometro: il n. 12 ed il n.3. Il sondaggio n.3, spinto fino alla profondità di 10 m, non ha presentato alcun rinvenimento di acque; l'assenza di eventuali acque sembra, altresì, confermata dalle risultanze delle tomografie elettriche che mostrano resistività via via crescenti in profondità.

Nel sondaggio 12 è stata rinvenuta la presenza di falda a circa 4,0 m dal p.c., all'interno delle "Calcareniti di colore giallastro fratturati associati ad orizzonti decimetrici di sabbie debolmente limose dello stesso colore (Sigla di rif: Cl); tale stratigrafia si rinviene anche nel sondaggio n. 9. Pertanto, queste condizioni locali, unitamente alla vicinanza del torrente di appartenenza, fanno pensare alla presenza di una falda superficiale intorno ai 4,00 m dal p.c. Dopo quest'analisi si può affermare che l'assetto idrogeologico dell'area in esame è tale da consentire, al suo interno, il reperimento di risorse idriche sfruttabili sia per uso potabili che irriguo.

LINEAMENTI GEOLOGICI

La geologia della provincia di Enna è essenzialmente rappresentata da una serie di termini litostratigrafici ascrivibili ad un intervallo di tempo che va dal Cretaceo superiore al Pleistocene.

In particolare nell'intorno dell'area in esame si riscontrano la formazione delle argille scagliose del Cretaceo, i terreni argillo-sabbiosi tortoniani, i termini della serie "Gessoso-Solfifera", ed i depositi pliocenici e pleistocenici trasgressivi.

Si osservano, infine, vaste coperture recenti costituite da depositi detritici, da terrazzi alluvionali ed infine da discariche di origine antropica (rosticci di antiche miniere di zolfo).

La colonna stratigrafica che caratterizza la geologia dell'area nel suo insieme è la seguente:

- Argille Scagliose (AS), costituite da argille di colore variabile dal rosso-vinaccia al grigio, con struttura scagliettata e giacitura quasi sempre caotica. Nella parte alta le argille varicolori, al contatto con la formazione Polizzi, mostrano una fitta alternanza di termini siltoso-marnosi o marnoso calcarei più o meno potenti alternati a livelli argillosi.
- Formazione di Polizzi (Ec), costituita da una alternanza di argille siltose grigiastre, di marne siltose e calcari marnosi duri e compatti di colore variabile da grigio-azzurrognolo al verdastro in strati di pochi centimetri. Subordinati a questi si intercalano sottili livelli di arenarie gradate a grana fine e livelli di calcari mesozoici e di selci di colore variabile da grigio al rosato.
- Formazione di Terravecchia o Formazione Tortoniana basale (Ma) presenta in facies argilloso-sabbiosa: infatti trattasi di argille sabbiose di colore ocraceo che ricoprono per uno spessore quasi costante di 4-5 m, la formazione intatta rappresentata da argille marnose di colore grigio azzurro, conosciute comunemente come argille azzurre, presentano intercalati nuclei e livelli sabbiosi (Miocene medio)
- Marne a diatomee (Tripoli Mt – Serie Gessoso Solfifera) costituita da diatomiti in straterelli mm-ritmici di colore biancastro, noti come farina fossile, alternata a marne fratturate di colore variabile dall'avana chiaro al grigio scuro al nerastro per la presenza di bitume (Miocene sup.).
- Calcarea di base (Mc – Serie Gessoso Solfifera) costituita da calcarea più o meno marnoso, molto eterogeneo sia dal punto di vista mineralogico che da quello strutturale. La roccia si

presenta in banchi di qualche metro di potenza separati da partimenti spessi alcuni centimetri di marne verdastre. Mostra una caratteristica struttura "perciulata" cioè vacuolare, effetto della dissoluzione di cristalli di Halite; il colore è da bianco grigiastro a bianco brunastro. La roccia mostra un'intensa fratturazione dovuta agli stress tettonici subiti che ne hanno determinato lo smembramento e la dislocazione in posizione (Miocene sup.). Lo spessore della formazione è valutabile in 10-15 m.

- Gessi (Mg) costituiti da due tipi litologici diversi per origine e dal punto di vista strutturale: il gesso primario balatino (o alabastro straterellato), a struttura mm-ritmica ed il gesso secondario selenitico (spicchiolino). Si tratta di una formazione di origine evaporitica appartenente alla serie Gessoso-Solfifera ed ascrivibile al Messiniano (Miocene sup.).
- Marne a globigerine (Trubi Pi) costituiti da rocce marnose, a volte calcaree e talora argillose; si presentano di colore da bianco-crema a bianco grigiastro con una struttura compatta, stratificata e finemente fessurata normalmente ai piani di stratificazione (Pliocene med.)
- Argille brecciate IV (AB IV) costituita da una breccia di frammenti in prevalenza argillosi e marnosi e subordinatamente arenacei e calcarei. Affiorano in prossimità della foce del Torrente Torcicoda.
- Marne di Enna (Pm), si tratta di una formazione pelitica ascrivibile al Pliocene medio chesi adagia in discordanza o in paraconcordanza sui Trubi. Rappresenta la parte basale di un complesso eteropico che comprende anche le calcareniti e sabbie (che saranno descritte più avanti). Estesi affioramenti si possono osservare immediatamente a Nord dell'allineamento M. Capodarso - M. Pasquasia - M. Strazzavertole - M. Salerno.
- Argille brecciate V (AB V) sono intercalate ai sedimenti del sistema pliocenico, si rinvencono a Grottacalda con massimo sviluppo in C.da Scavo ed estensione verso Sud sino all'altezza della Solfara Grottacalda. Nella zona di Cozzo Scavo le AB V assumono forti spessori alternandosi con due livelli di quarzareniti calcaree. Dal punto di vista litologico sono simili alle AB II ma si distinguono per la loro posizione.
- Calcareniti e sabbie di Capodarso (Ps) costituita da una serie di lenti calcarenitiche, separate da strati di sabbie e argille sabbiose, sovrapposte e sfalsate. Le singole lenti di colore

giallastro, mostrano stratificazione incrociata, passaggio graduale a sabbia e sabbia siltosa verso il basso e passaggio brusco ad argille siltose verso l'alto. Le calcareniti formano i rilievi più elevati del territorio comunale di Enna tra cui M. Pasquasia (610 m. s.l.m.), M. Salsello (714 m. s.l.m.).

- Argille marnose di Geracello (Qi) costituita da argille marnose e siltose azzurre, talora grigio giallastre. La formazione ha uno spessore di circa 300 m, è facilmente erodibile e presenta forme calanchive. Nella parte alta della formazione si osserva un progressivo aumento della frazione sabbiosa con passaggio graduale alle sabbie gialle della formazione sovrastante.
- Sabbie superiori (Qim) costituite da sabbie fini sciolte, di colore variabile tra il giallo, il bruno chiaro ed il rosso, con intercalazioni di arenarie variamente cementate.
- Alluvioni terrazzate ed attuali, hanno granulometria grossolana e sono costituite da ghiaia e sabbia con grossi ciottoli e blocchi, mentre le alluvioni terrazzate hanno granulometria mediamente più fine e sono costituite da sabbia e sabbia argillosa con rare lenti di ghiaia. Sono presenti con spessori variabili lungo tutto il corso dei Fiumi Salso e Torcicoda.
- Frane e detriti accumulati di detrito dovuto all'erosione della roccia sovrastante. Esse rappresentano forme di erosione molto immature e sono ubicate lungo le falde dei rilievi rocciosi.
- Discariche di rosticcio di zolfo si osservano nei pressi di antiche miniere, vasti accumuli di materiale calcareo-gessoso. Il materiale è di colore rossiccio-biancastro ed ha una consistenza terrosa e una granulometria varia, generalmente grossolana.

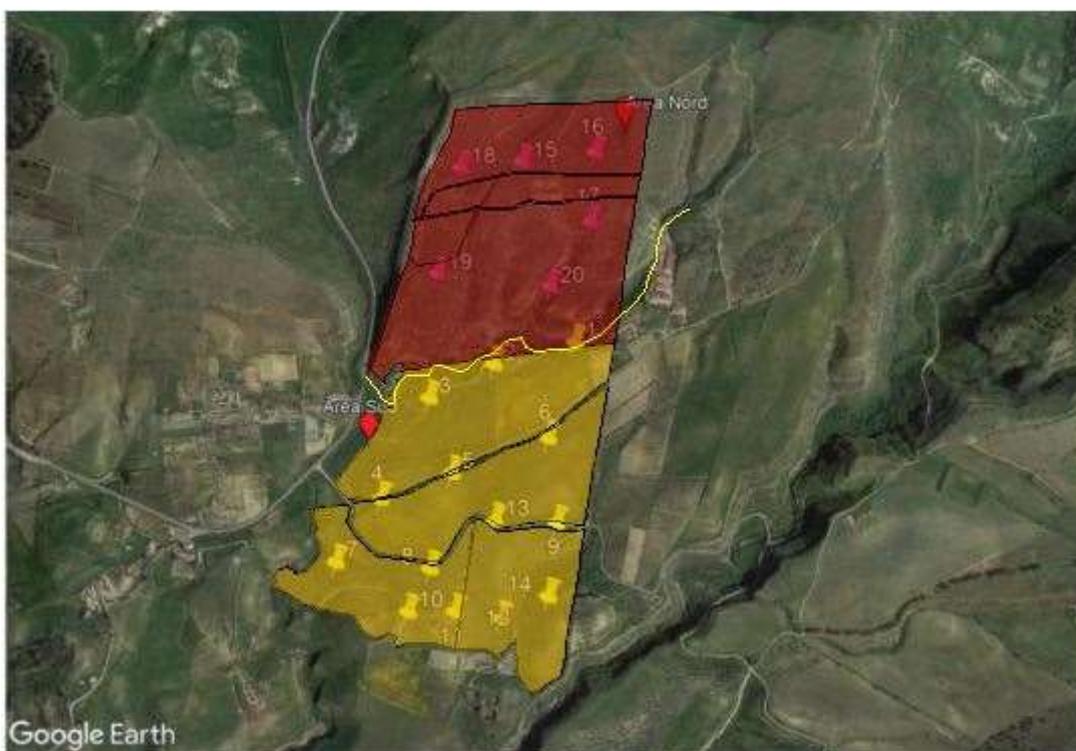
I terreni affioranti nell'area di c.da Salsello sono essenzialmente riconducibili alle Calcareniti e sabbie di Capodarso (Ps). Tale formazione è costituita da una serie di lenti calcarenitiche, separate da strati di sabbie e argille sabbiose, sovrapposte e sfalsate a guisa di "tegole". Le singole lenti di colore giallastro, mostrano stratificazione incrociata, passaggio graduale a sabbia e sabbia siltosa verso il basso e passaggio brusco ad argille siltose verso l'alto.

Anche dall'effettuazione dei sondaggi, la varietà delle stratificazioni e delle tessiture interne alla Formazione di Capodarso vengono sicuramente evidenziate e confermate.

GEOLOGICO TECNICA – STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

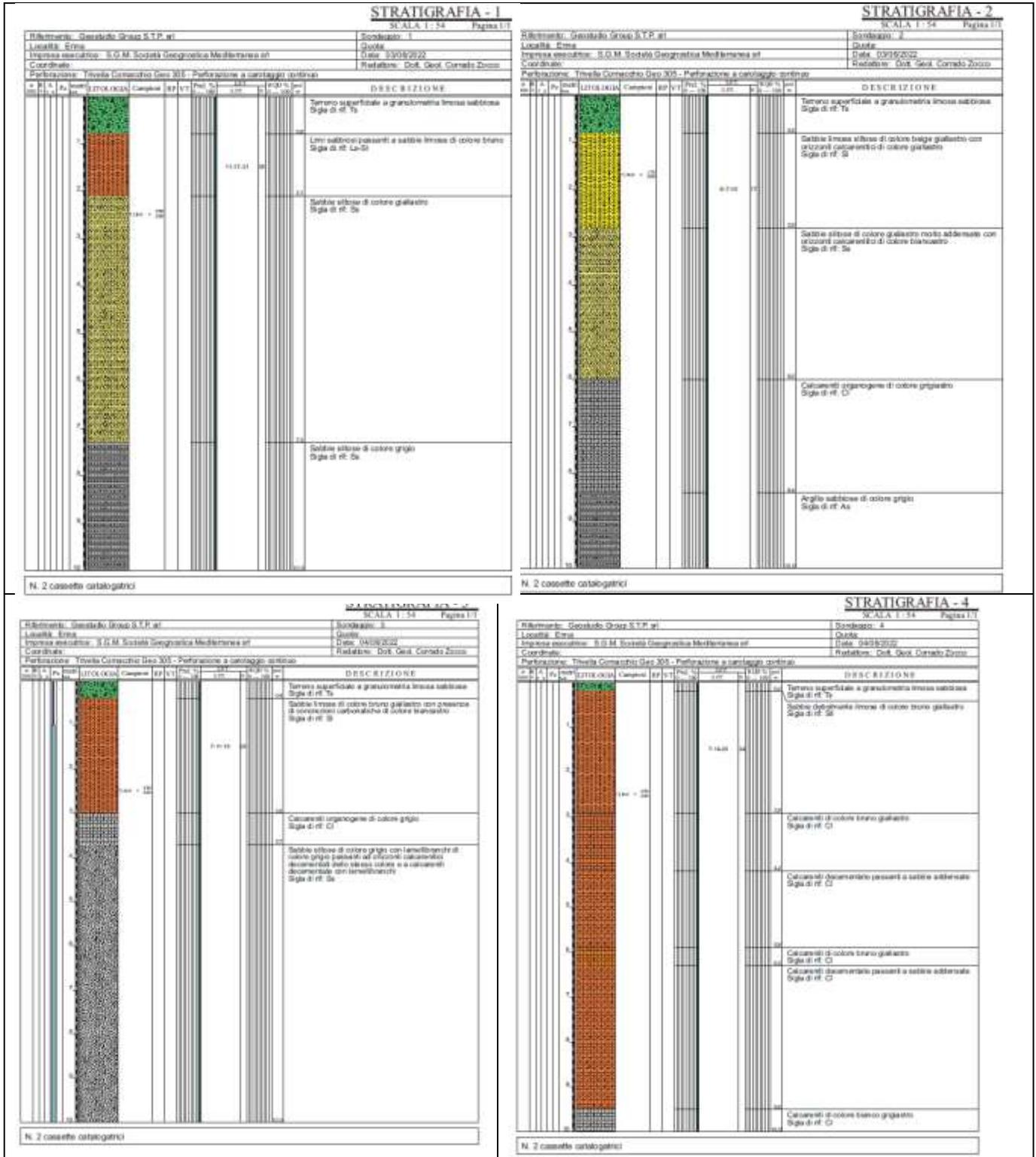
Da un punto di vista strutturale le formazioni affioranti nell'area in studio sono state interessate da una serie di fasi compressive che ha riguardato tutta la Sicilia centro-orientale dal Miocene medio fino al Pliocene inferiore, causando ricoprimenti tettonici e numerose faglie inverse che meglio si evidenziano nelle formazioni rocciose; in particolare in corrispondenza della zona oggetto di studio non si evidenziano strutture di tipo tettonico.

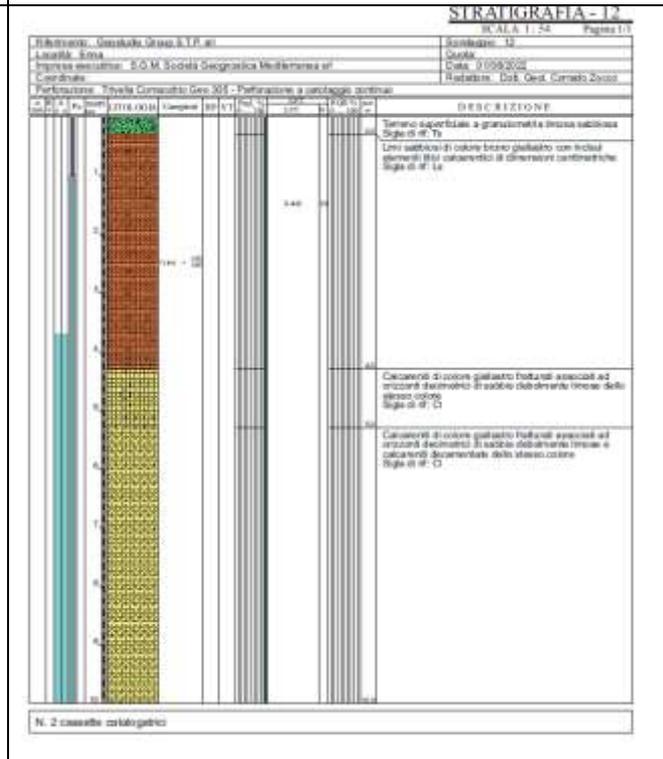
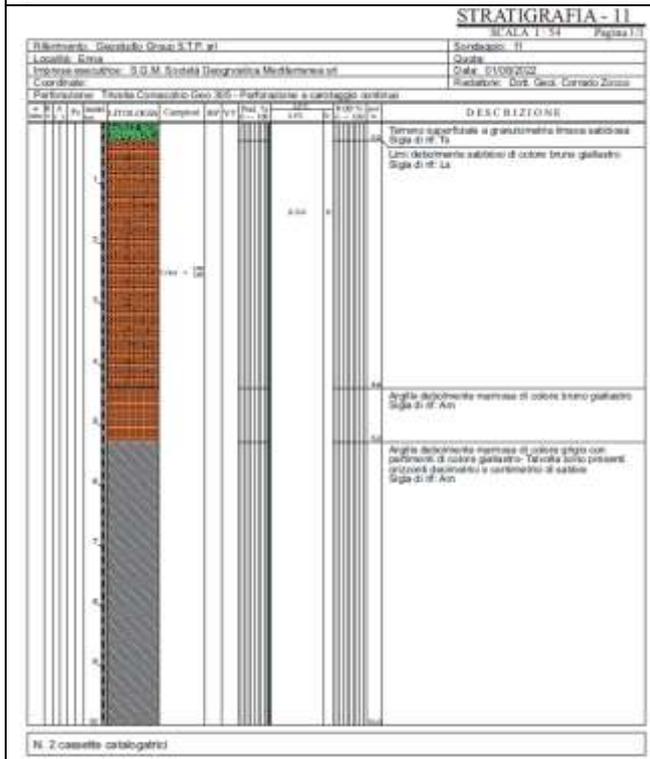
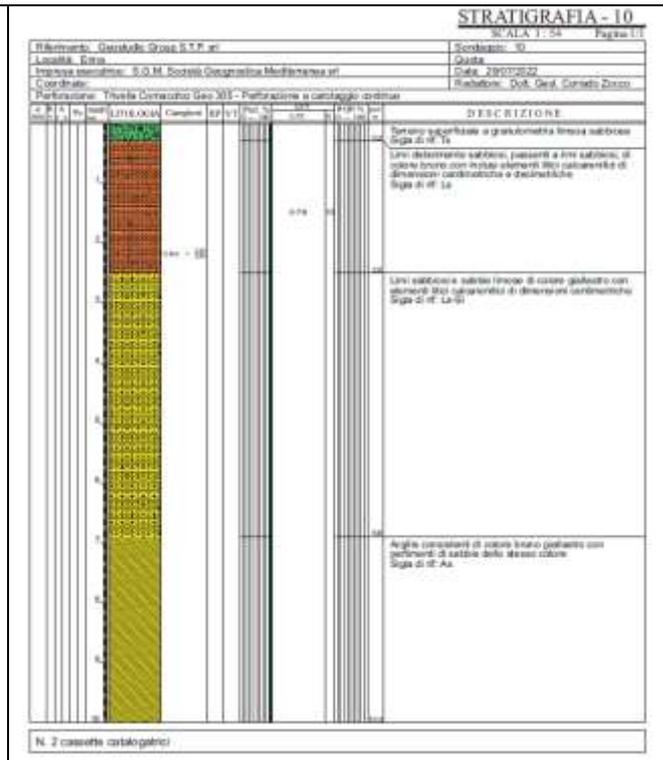
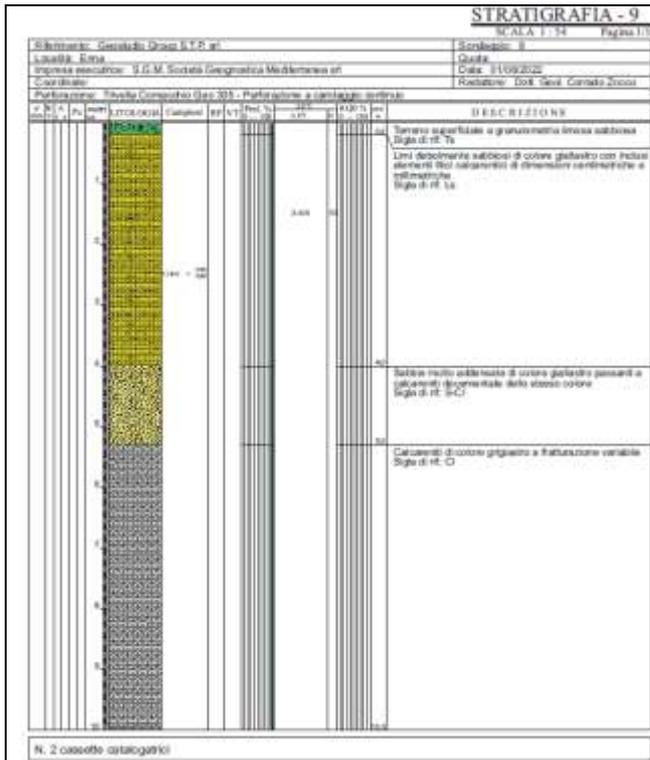
Si riportano di seguito nuovamente le ubicazioni dei sondaggi diretti.

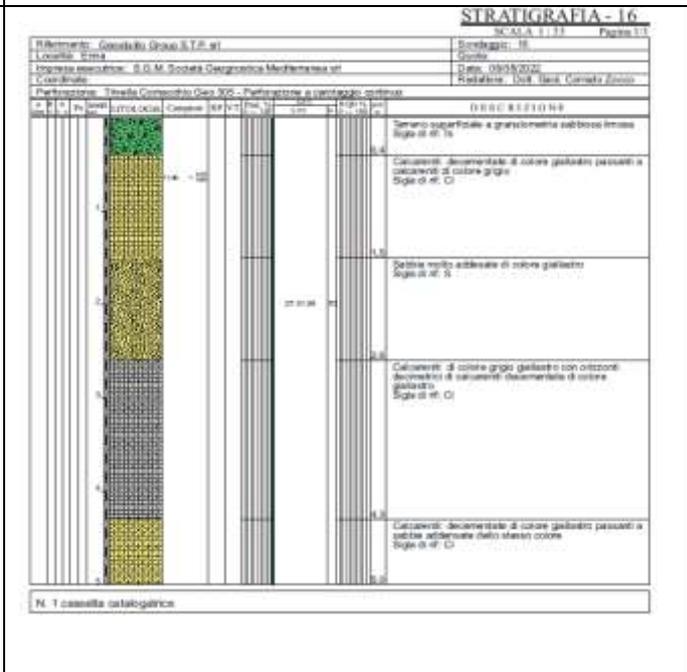
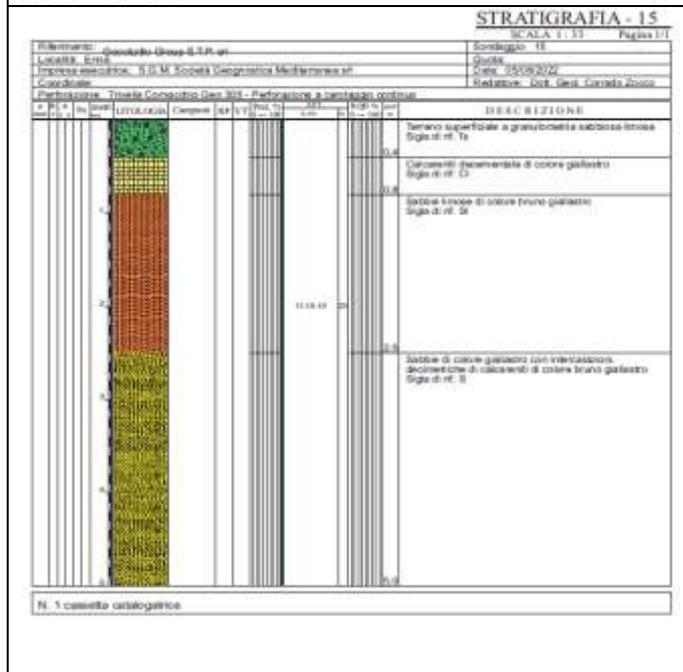
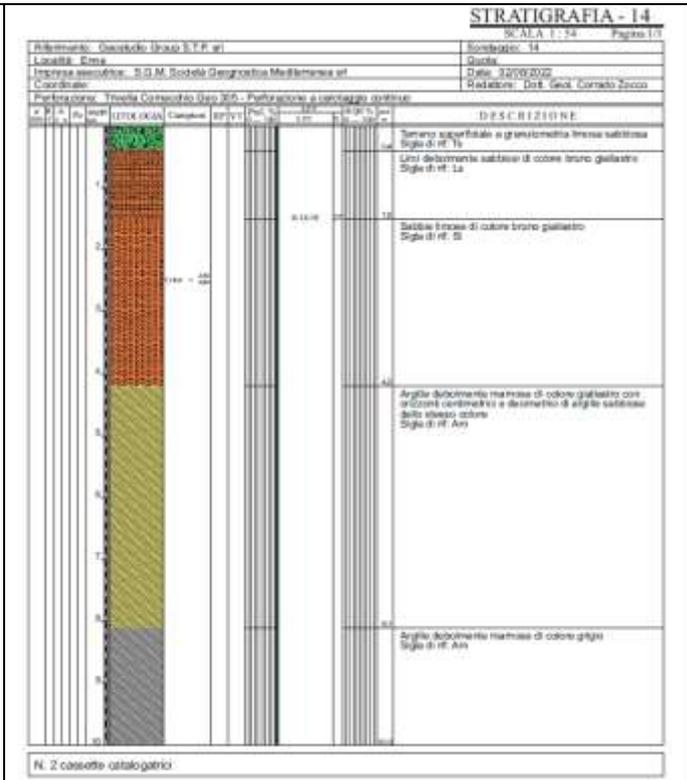
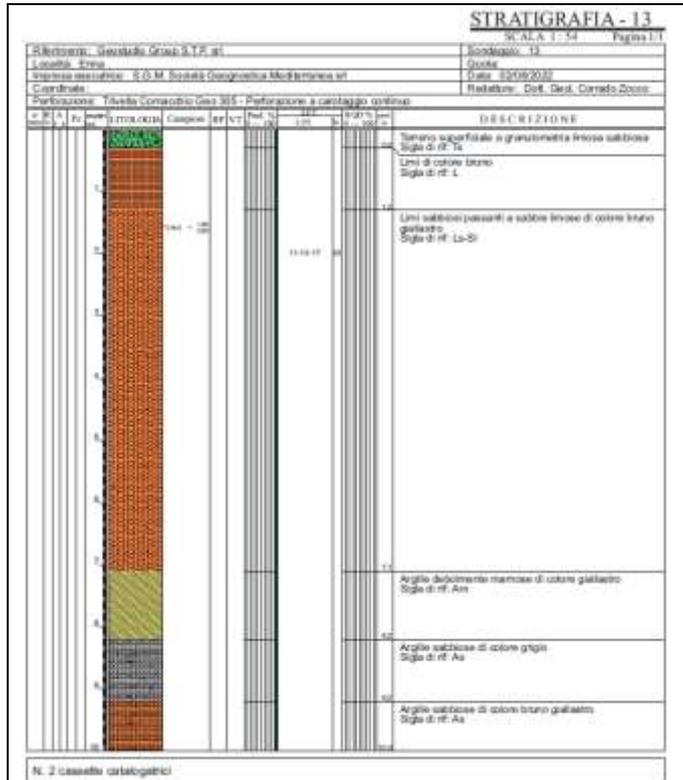


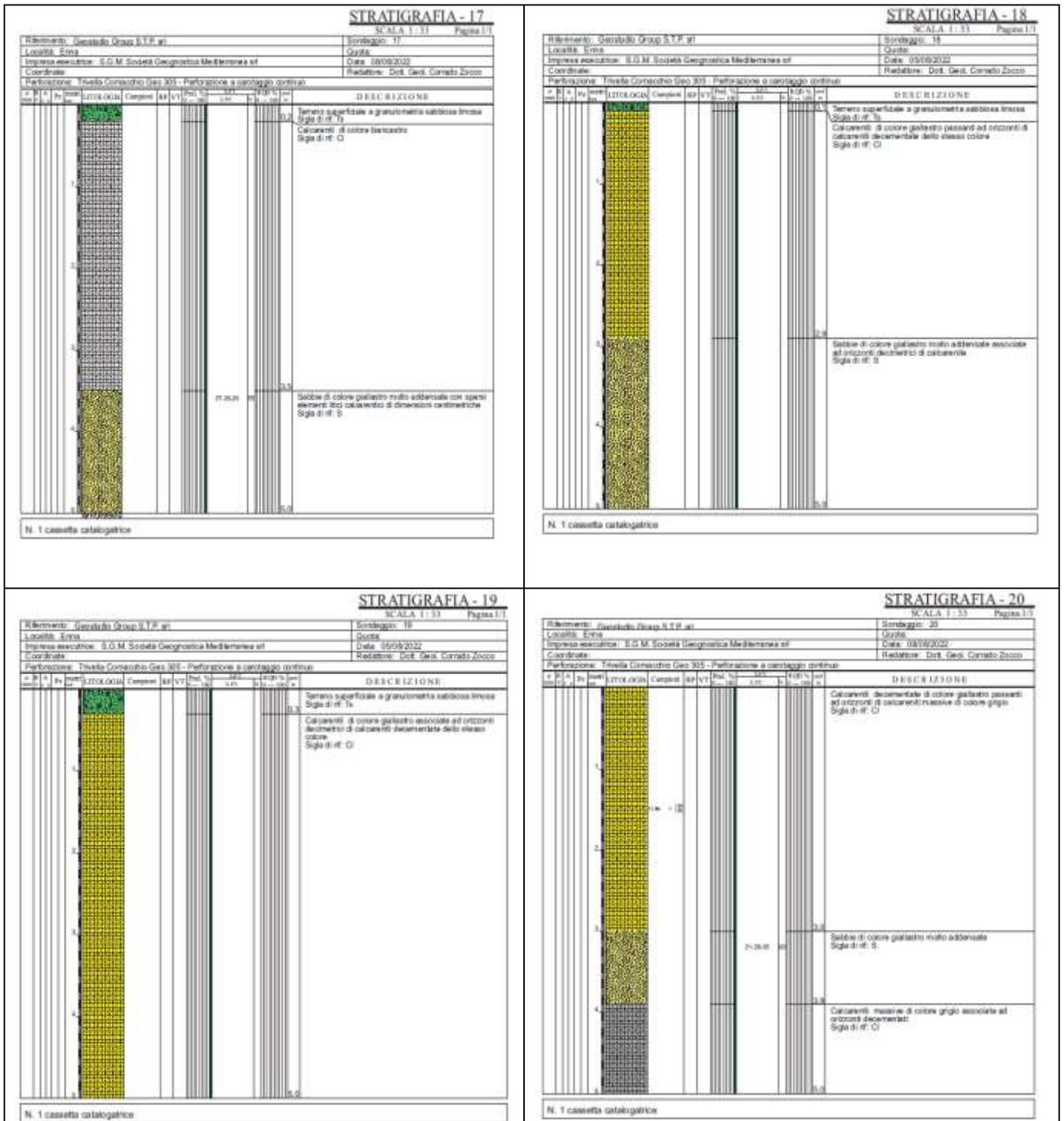
In rosso Area Nord, in giallo Area Sud

Le stratigrafie rinvenute nei sondaggi effettuati, (n. 14 perforazioni nella Area Sud tutti profondi 10,0 m dal p.c. e n. 5 perforazioni nella Area Nord, tutti approfonditi fino a 5,0 m dal p.c.), sono di seguito riportati.









Dall'esame delle stratigrafie carotate, si evince che siamo appieno all'interno della Fm. Capodarso, in quanto i terreni campionati variano da sabbie a sabbie limose a sabbie siltose verso il basso, oltre che ad un diverso grado di consistenza se trattasi di sabbie sciolte o coerenti. Di seguito viene riportata la descrizione dei litotipi rappresentativi (come da report delle perforazioni).

	<p>Sabbie debolmente limose di colore bruno giallastro Sigla di rif: S1</p>
	<p>Sabbie siltose di colore giallastro con lamellibranchi Sigla di rif: Ss</p>
	<p>Sabbie siltose di colore giallastro Sigla di rif: Ss</p>
	<p>Sabbie siltose di colore grigio Sigla di rif: Ss</p>
	<p>Sabbie siltose di colore grigio con lamellibranchi Sigla di rif: Ss</p>

Si sottolinea che in alcuno di queste perforazioni sono state evidenziate discontinuità che possano essere ricondotte a cavità.

Dalla cartografia, l'area non risulta interessata da lineazioni tettoniche.

GEOTECNICA

La ricostruzione litostratigrafica e la descrizione dei vari litotipi presenti è stata eseguita a partire da dati cartografici e di letteratura, dal rilevamento geologico di dettaglio e successivamente integrati da dati provenienti da sondaggi a carotaggio continuo e le indagini indirette eseguite in loco.

Anche in questo caso, la distinzione effettuata in Area Nord ed Area Sud assume significato in quanto la stratigrafia e, quindi, le caratteristiche geologico tecniche che ne derivano hanno caratteristiche diverse ed il loro comportamento meccanico e fisico varia anche sulla base delle condizioni geomorfologiche ed idrografiche/idrogeologiche presenti.

Si riportano di seguito le caratteristiche geologico tecniche fondamentali per ciascuna delle due aree.

Area Nord

La colonna stratigrafica di dettaglio (dal sondaggio n. 15 al n. 20, tutte spinte a profondità di 5,0 m) presente nell'Area Nord è la seguente:

- Suolo agrario o terreno superficiale (contrassegnate con Ts) a granulometria sabbioso-limosa avente spessore da 0,4 m (sondaggio n. 15 e n. 16) a spessore esigui o addirittura mancante nel sondaggio n. 20;
- Calcareniti di colore giallastro (contrassegnate con Cl), a volte passanti al colore grigio, con decementificazione variabile sia nei differenti sondaggi che a profondità differenti; lo spessore è variabile i 0,4 m del sondaggio n. 15, fino ai 4,6 m o i 3,0 m rispettivamente del sondaggio n. 19 e n. 20;
- Sabbie limose di colore bruno giallastro (contrassegnate con Sl) avente spessore di circa 1,5 m presenti solo nel sondaggio n. 15;
- Sabbie di colore giallastro (contrassegnate con S) con intercalazioni decimetriche di calcarenitidi colore giallastro o bruno giallastro avente spessore variabile da 2,4 m nel sondaggio n. 15 e variabili intorno al metro o poco più nei sondaggi n. 16, 18 e 20, con totale mancanza nel sondaggio 17 e 19;

- Calcareniti di colore grigio giallastro (contrassegnate con C1) con orizzonti decimetrici di calcareniti decementate di colore giallastro deposto in continuità con il termine simile descritto precedentemente oppure a chiusura delle perforazioni.

Per la caratterizzazione geologico tecnica dei terreni affioranti sono stati utilizzati i parametri provenienti dalle prove penetrometriche S.P.T., facendo riferimento a "Standard" ASTM 1586, "Penetration Test an Split Barrel Sampling of Soil".

I litotipi ritrovati nelle perforazioni sono di fatto ammassi litoidi coerenti, ma con fratturazione variabile da media a sostenuta. Ciò impone, dato la natura delle opere da realizzarsi, l'assunzione di una schema geologico stratigrafico esemplificativo, naturalmente secondo regole di sicurezza.

I dati elaborati provengono dalle prove SPT effettuate in sito ed effettuate ad una profondità variabile tra 1,5 m dal p.c. a 3,60 m dal p.c..

Per la modellazione geologica/geotecnica, i terreni affioranti, tolto la parte del suolo superficiale (circa 0,5 m), vengono considerati come terreni incoerenti ed addensati, trascurando di fatto la bassa coesione esistente lungo eventuali discontinuità o giunti, il tutto secondo canoni di sicurezza.

I parametri geotecnici, per la determinazione delle resistenze di progetto, vengono determinati dividendo gli stessi per i coefficienti parziali della tabella 6.2.II. e sono di seguito riportati:

Coesione - $c'k = 0,0$ kPa (in sicurezza)

Peso di volume - $Pv = 2.250$ daN/m³

Angolo attrito

ψ

dati	media dati
30.08	31.29
31.9	dev. Stand
31.49	0.82

ψk
30.2

32	n° dati
	4

Area Sud

La colonna stratigrafica di dettaglio (dal sondaggio n. 1 al n. 14, tutti spinti a profondità di 10,0 m) presente nell'Area Sud è la seguente:

- Suolo agrario o terreno superficiale (contrassegnate con Ts) a granulometria sabbioso-limosa avente spessore da 0,8 m (sondaggio n. 1 e n. 2) a spessore esigui o addirittura mancante come nel sondaggio n. 7;
- Sabbie limose, di colore da giallo a beige, e limi sabbiosi passanti a sabbie limose – il cui contenuto è variabile nei vari carotaggi - di colore bruno, bruno giallastro e, ancora, bruno marrone (contrassegnate con Ss, Ls-Sl, Ls, L-Ls, Sl, Sll) a volte contenenti orizzonti calcarei (sondaggio n. 3) concrezioni carbonatiche (sondaggio n. 5) o litici centimetrici (sondaggi n. 7, n. 9 e n. 12); lo spessore complessivo è variabile da 2,5 m, nei sondaggi n. 3 e n. 4, 3,5 m/5,0 m nei sondaggi n. 9, n. 5, n. 6, n. 11, n. 12 e n. 14, da 5,5 m/6,5 m nel sondaggio n. 1, n. 2, n. 8, n.10 e n. 13, mentre nel sondaggio n. 7 lo spessore è di 10 m;
- Calcareniti organogene di colore grigiastro e nel sondaggio n. 4 anche bruno giallastre, spesso con fratturazione variabile, (contrassegnate con Cl), con decementificazione variabile sia nei differenti sondaggi che a profondità differenti; lo spessore, quando presente, è variabile intorno ad 1,0 m del sondaggio n. 12 e n. 3, da 2,5 m a 4,5 m rispettivamente nel sondaggio n. 2 e n. 9, fino ai 7,0 m del sondaggio n. 7;
- Argille sabbiose di colore grigio o debolmente marnose (contrassegnate con As o Am) di colore giallastro con orizzonti di argille sabbiose dello stesso colore e di color grigio e con possibilità di orizzonti centimetrici e/o decimetrici di sabbia; la loro presenza è sempre a fondo foro e lo spessore, quando presente, varia da 1,5 m/3,0 m nel sondaggio n. 2, n. 8 e n.10 a 4,5 m nel sondaggio n. 11;

Gli spessori sono, naturalmente, riferite allo spessore di carotaggio.

I terreni ritrovati nelle perforazioni ed analizzati e parametrizzati in laboratorio, risultano semicoerenti nella parte più superficiale e pseudocoerenti nella parte più profonda della perforazione; possono essere considerati come terreni sciolti e con coesioni drenate e non drenate da basse a medio basse. Anche in questo caso, data la natura “estensiva” delle opere da realizzarsi, l’assunzione di uno schema geologico stratigrafico esemplificativo, naturalmente sempre secondo regole di sicurezza.

Per la modellazione geologica, i terreni affioranti, tolto la parte del suolo superficiale (circa 0,5 m), possono essere considerati come terreni coesivi non drenati (sondaggio n.12 con presenza di acqua a circa 3,8 m dal p.c.); il tutto, naturalmente, secondo canoni di sicurezza. La granulometria eterogenea permette di escludere una potenziale liquefazione dei sito di sedime. I parametri geotecnici, per la determinazione delle resistenze di progetto, vengono determinati dividendo gli stessi per i coefficienti parziali della tabella 6.2.II..

I dati elaborati, per le condizioni non drenate, provengono da Prove di Espansione Laterale Libera (ELL) o da dati SPT effettuate ad una profondità variabile tra 1,5 m dal p.c. a 3,60 m dal p.c..

Coesione non drenata da prove ELL

Cu

dati	log dati	media ln X
147	0.39	0.11
100	0.00	dev. St. ln X
060	-0.51	0.32
108	0.08	n° dati
128	0.25	7
157	0.45	t_{1-α/2 (n-1)}
110	0.10	1.94

Cu k
90 KPa

Modulo edometrico

Med

dati	media dati
228	133.57
102.0	dev. Stand
174	68.82
204.00	n° dati
216.00	14
126.00	
48.00	
72.00	
80.00	
90.00	
48.00	
80.00	
240.00	
162.00	

Med k	
99.8 kg/cmq	97.870,37 kPa

Peso di volume - Pv = 1.932 daN/m³

Per completezza si riportano anche i parametri fondamentali in condizioni drenate.

I dati elaborati provengono dalle prove SPT effettuate ad una profondità variabile tra 1,5 m dal p.c. a 3,60 m dal p.c., o dalle prove di laboratorio (Taglio Diretto) su campioni prelevati da 1,5 m dal p.c. a 2,5 m dal p.c., quest'ultimo dato di profondità maggiormente presente.

Angolo attrito da SPT

ψ

dati	media dati
30.89	29.60
29.6	dev. Stand
30.45	1.07
30.71	n° dati

ψ k
29.1

30.81	14
29.93	
27.90	
28.56	
28.73	
29.39	
27.90	
28.73	
30.51	
30.34	

Angolo attrito da prove di Taglio Diretto

ψ		
dati	media dati	ψ_k
32.0	31.86	30.5
34.0	dev. Stand	
30.0	2.82	
32.0	n° dati	
34.0	14	
34.0		
26.0		
35.0		
35.0		
30.0		
29.0		
34.0		
33.0		
28.0		

Coesione drenata da prove di Taglio Diretto

c'

dati	media dati
3.0	6.71
6.0	dev. Stand
6.0	6.17
7.0	n° dati
2.0	14
5.0	
18.0	
0.0	
2.0	
6.0	
17.0	
5.0	
0.0	
17.0	

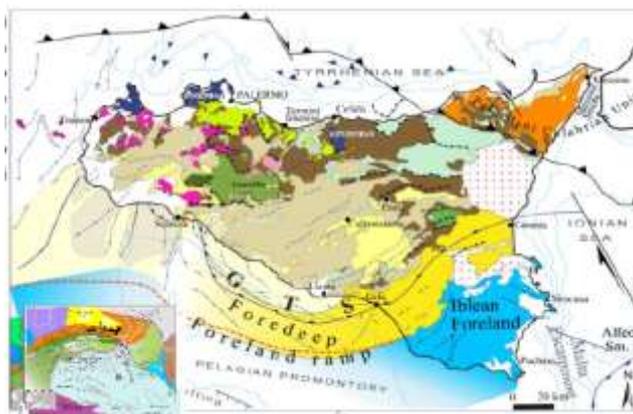
C'k
3.7 kPa

PARTE TERZA

PERICOLOSITÀ SISMICA

LINEAMENTI TETTONICI

L'area oggetto di studio si inquadra nella Sicilia centrale ai margini della Sicilia orientale che è una delle regioni a più alto rischio sismico dell'Italia, essendo stata colpita nel passato da grandi terremoti distruttivi (magnitudo $M = 6.4-7.3$). Per definire le caratteristiche della sismicità, e soprattutto per stimare la pericolosità sismica, nel sito oggetto di studio, occorre considerare anche l'influenza dei terremoti regionali.



A grande scala sono state individuate in Sicilia orientale alcune ampie zone sismogenetiche (ZS) (SCANDONE et alii, 1992) caratterizzate da sismicità omogenea. Nella Sicilia sud-orientale la sismicità è distribuita soprattutto in due settori: lungo la costa ionica, dove i terremoti raggiungono $M \sim 7.0$, e nell'area interna, con eventi di $M \sim 5.5$.

La Scarpata Ibleo- Maltese, con riattivazione neotettonica e attuale, sembra la sorgente (ZS 79) più probabile per i grandi terremoti (1169, 1693, 1818, 1848) di quest'area (AZZARO & BARBANO, 2000). La distribuzione della sismicità nel margine settentrionale e nord-occidentale dell'avampaese ibleo indica la presenza di strutture sismogenetiche minori (ZS 78) collegate alla Scarpata a cui si possono associare terremoti con magnitudo massima 6.4 (1542) e 5.4 (1624, 1698, 1818, 1959) rispettivamente. Più a nord è localizzata la ZS 73 (area etnea) caratterizzata da terremoti superficiali e di bassa magnitudo che localmente possono produrre effetti distruttivi, ma

che vengono appena avvertiti al di fuori dell'area stessa. Nella Sicilia nord orientale sono state individuate due zone sismogenetiche la ZS 71 (Stretto di Messina), in cui è ubicato il terremoto del 1908 ($M \sim 7.0$), e la ZS 74 con sismicità meno definita. Al confine fra Nebrodi e Peloritani occidentali, i terremoti sono localizzati soprattutto sul versante tirrenico, lungo l'allineamento Patti-Vulcano-Salina (AZZARO et alii, 2000). Questa sismicità è associabile alle strutture trascorrenti destre NO-SE (es. terremoto di Patti del 1978, $M \sim 6.0$) presenti nell'area. Di magnitudo più bassa ed ipocentri più superficiali, i terremoti dell'area Novara di Sicilia-Raccua sembrano collegati a strutture esterne all'allineamento Patti-Isole Eolie. I terremoti di Naso potrebbero invece essere associati a faglie normali NE-SO responsabili del sollevamento della Catena. Le strutture peritirreniche (circa E-O), presenti in mare e responsabili degli eventi del settore più occidentale delle Eolie, potrebbero aver generato terremoti come quello del 1823 ($M = 5.9$) (AZZARO et alii, 2000).

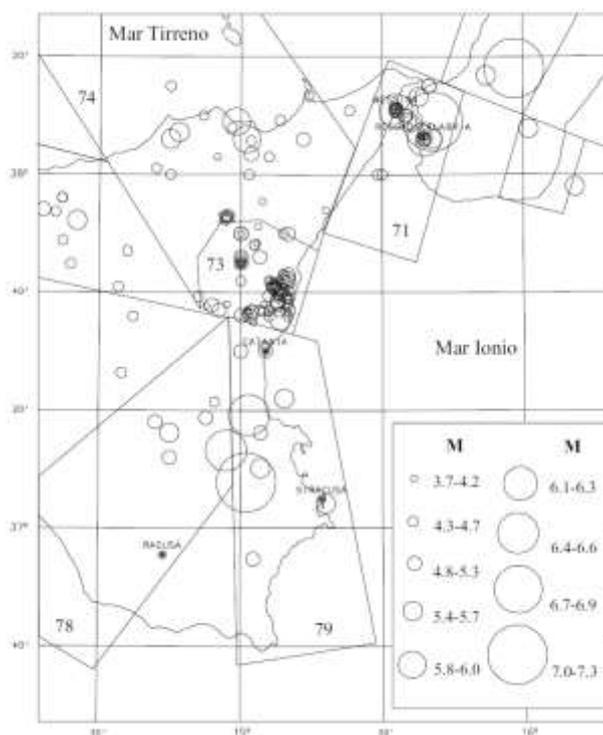


Fig. 1 - Epicentri dei terremoti della Sicilia orientale e Calabria meridionale nel periodo 1125-1990 dal catalogo parametrico dei terremoti Italiani (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 1999). L'asterisco indica l'ubicazione di Enna. I poligoni rappresentano le Zone Sismogenetiche tratte da SCANDONE et alii (1992).

L'area di Enna è localizzata al di fuori delle zone sismogenetiche. Le carte degli epicentri dei terremoti sia storici che recenti mostrano che in quest'area non è localizzato nessun evento.

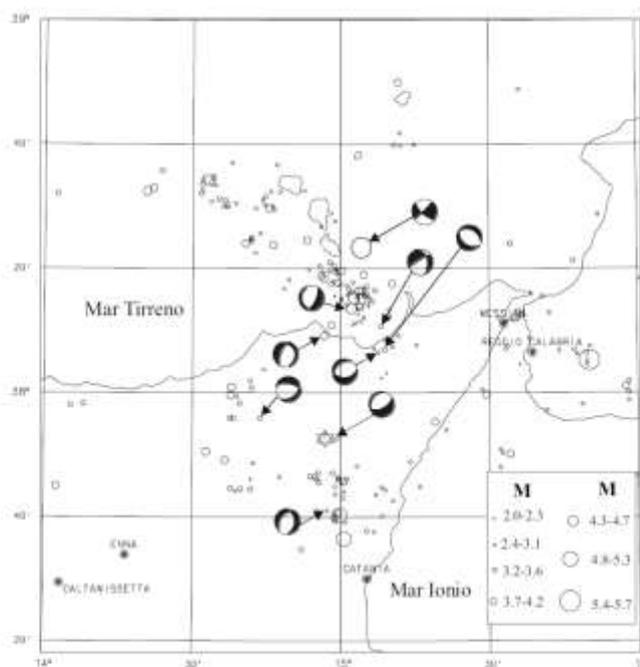


Fig. 2 - Epicentri strumentali degli eventi localizzati con incertezze ERH e ERZ non superiori a 3 km in Sicilia nord-orientale nel periodo 1978-1997 e meccanismi focali disponibili (dati tratti da MOSTACCIO et alii, 1999).

Gli epicentri dei terremoti, infine, non sembrano presentare allineamenti particolari, le profondità massime sono di 50 km, con la maggior parte dei terremoti localizzati nei primi 15 km (MOSTACCIO et alii, 1999). Le soluzioni focali disponibili (Fig. 2) mostrano meccanismi prevalentemente normali o transtensivi con piani nodali variabili da ENE-OSO a NNE-SSO e NNO-SSE (MOSTACCIO et alii, 1999).

E' stata eseguita l'analisi di dettaglio dei terremoti che hanno interessato la località oggetto di studio, al fine di ricostruirne la storia sismica e definirne la pericolosità al sito. La storia sismica di un sito, che è l'elenco cronologico degli effetti causati dai terremoti vicini e lontani al sito stesso, valutati in intensità macrosismica, rappresenta la base essenziale per stabilire l'impatto del terremoto con il territorio nel tempo e può anche essere utilizzata per valutare la pericolosità

direttamente dai dati di intensità al sito con un metodo recentemente sviluppato (MAGRI et alii, 1994).

Per la definizione della storia sismica del sito considerato sono stati utilizzati come dati di partenza studi disponibili in letteratura, quali il database GNDT DOM4.1 (MONACHESI & STUCCHI, 1997), il Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (BOSCHI et alii, 1995; 1997).

La maggior parte dei terremoti avvertiti o che hanno lievemente danneggiato Enna sono legati all'attività delle faglie regionali che si sviluppano lungo la costa ionica, come la scarpata Ibleo-Maltese con direzione NNO-SSE, (AZZARO & BARBANO, 2000) e le faglie NNE-SSO dello Stretto di Messina e della Calabria meridionale e dell'area di catena.

In generale si hanno poche informazioni sui terremoti che hanno interessato l'area oggetto di studio, perché manca la sismicità. La maggior parte delle osservazioni macrosismiche di bassa intensità che compaiono nella storia sismica si riferiscono ad alcuni forti terremoti con epicentro in Sicilia orientale ed in Calabria meridionale. I valori I_{cal} (intensità calcolata) che compaiono nel grafico sono stati ottenuti riportando al sito, mediante una legge cubica di attenuazione, le intensità epicentrali dei terremoti tratti dal catalogo (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 1999). Questa integrazione di dati è stata necessaria data l'incompletezza dell'informazione storica.

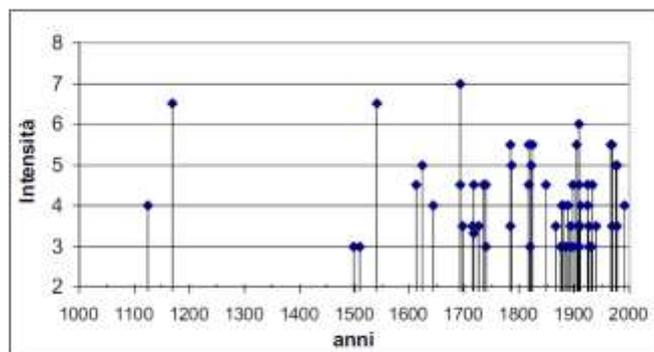


Fig. 3 - Storia sismica di Enna, rappresenta le intensità calcolate al sito mediante una legge di attenuazione cubica dalle intensità epicentrali tratte dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 1999).

Il catalogo di sito è stato adoperato per calcolare i periodi di ritorno mediante il metodo di MAGRI et alii (1994). L'approccio è basato sull'uso di una funzione di distribuzione discreta che, per ciascun terremoto, descrive la probabilità che gli effetti macrosismici siano più grandi o uguali a ciascun valore d'intensità della scala adottata. La probabilità è calcolata utilizzando i valori osservati al sito e per ogni classe d'intensità, trattata indipendentemente dalle altre, è stata calcolata la soglia di completezza.

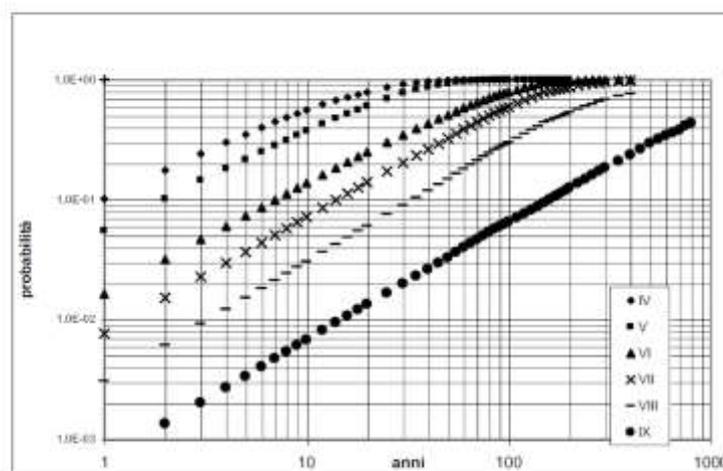


Fig. 4 – Probabilità di occorrenza calcolata con il metodo di MAGRI et alii (1994).

Per la località oggetto di studio si ha una probabilità molto bassa del verificarsi di terremoti con effetti distruttivi ($I > 8$). Il periodo di ritorno medio ottenuto per $I = 8$ risulta 173 ± 105 anni. Di fatto questa intensità non è mai stata raggiunta in nessuna località e i periodi di ritorno sono ottenuti da un'estrapolazione delle classi inferiori. Le classi di intensità $I = 7$ (danno moderato), hanno periodi di ritorno medio 90 ± 43 anni.

Per quanto riguarda i valori di accelerazioni tangenziale, che poi sono quelli utili ai fini di una corretta progettazione, utilizzando la relazione di Richter, che sfrutta i valori di intensità al sito si ha per Enna: $\text{Log } A = 0.33 \text{ IS} - 0.5$; cioè $A = 64.56 \text{ cm sec}^2$ pari ad $a = 0.07$, dove con a si intende A/g , cioè la percentuale dell'accelerazione tangenziale (a) rispetto all'accelerazione di gravità g .

L'analisi della sismicità della zona di Enna ha mostrato che quest'area, rispetto ad altre della Sicilia orientale, ha una frequenza di occorrenza di terremoti locali molto bassa. Per la sua

collocazione geografica i terremoti di zone sismogenetiche vicine possono provocare danni non gravi. Infine, dati i valori di accelerazione tangenziale, può configurarsi in zona di seconda categoria, rispetto alla normativa italiana, con buoni coefficienti di sicurezza.

CLASSIFICAZIONE SISMICA

La normativa sismica disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti alle stesse sollecitazioni.

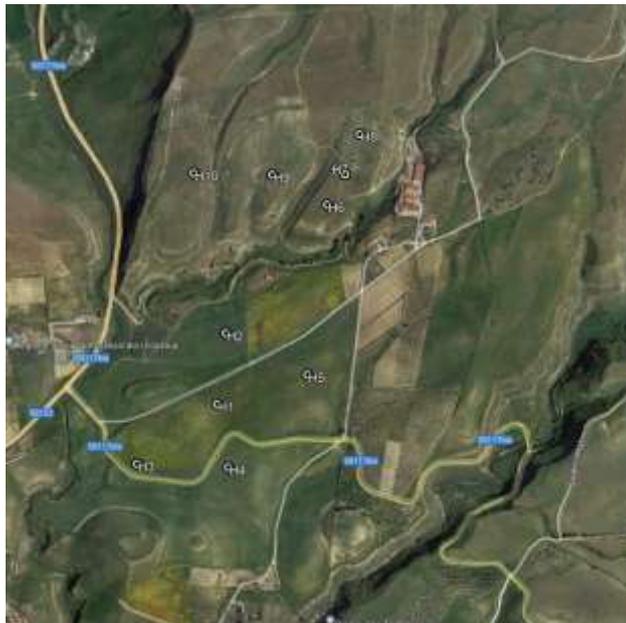
Nella nuove norme tecniche per le costruzioni, per poter definire l'azione sismica di progetto vengono valutate l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. A tal fine vengono stabilite 5 categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità sono riferite al piano di posa delle fondazioni):

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per la caratterizzazione del suolo sono state effettuate n. 10 indagini sismiche HVSR effettuate nell'area interessata dal progetto (n. 5 nella Area Nord e n.5 nella Area Sud), allo scopo di determinare le caratteristiche di risposta sismica locale e le condizioni geodinamiche del terreno di fondazione delle opere in oggetto. Le indagini geognostiche è stato eseguito in conformità alle disposizioni tecniche per le indagini sui terreni e sulle rocce: N.T.C. D.M 17 gennaio 2018.

Le ubicazioni delle indagini sono di seguito riportate.



Le risultanze di tali prove sono riportate di seguito.

Dalle prove sismiche eseguite in loco, con offset a da 1,0 a 1,5 m, è stato ottenuto il seguente risultato:

HVSR 1 -- $V_{s,eq(20m)} = 288$ m/s

HVSR 2 -- $V_{s,eq(20m)} = 319$ m/s

HVSR 3 -- $V_{s,eq(20m)} = 328$ m/s

HVSR 4 -- $V_{s,eq(20m)} = 331$ m/s

HVSR 5 -- $V_{s,eq(20m)} = 323$ m/s

HVSR 6 -- $V_{s,eq(20m)} = 329$ m/s

HVSR 7 -- $V_{s,eq(20m)} = 323$ m/s

HVSR 8 -- $V_{s,eq(20m)} = 326$ m/s

HVSR 9 -- $V_{s,eq(20m)} = 336$ m/s

HVSR 10 -- $V_{s,eq(20m)} = 327$ m/s

I risultati prima ottenuti permettono di identificare la categoria di sottosuolo in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 20 metri circa di profondità.

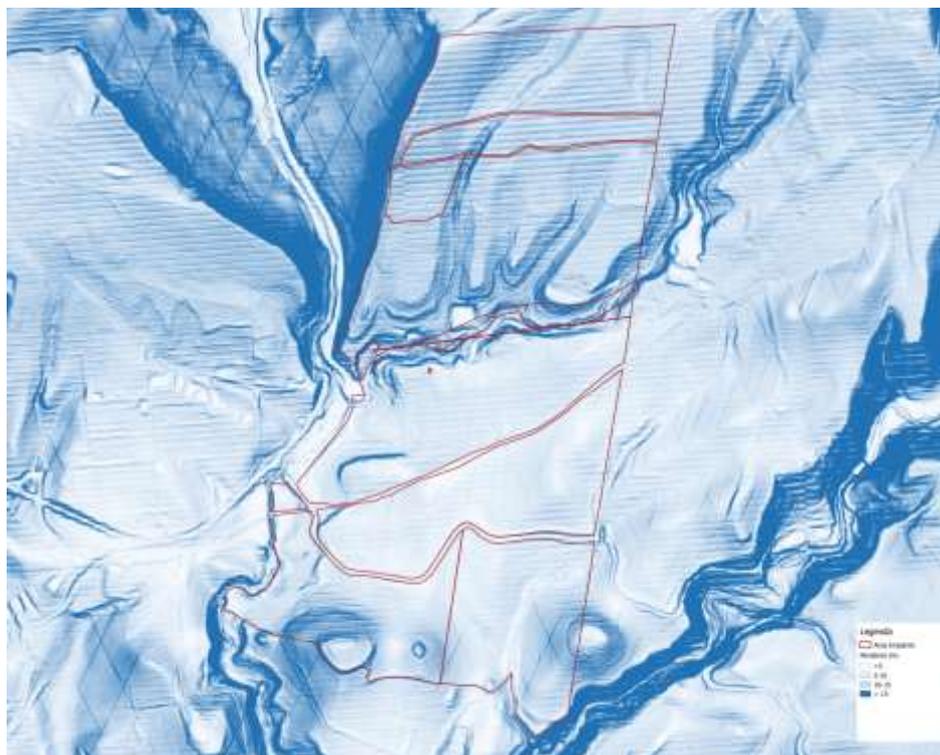
Dalle indagini HVSR si evince che la categoria di profilo stratigrafico del terreno di fondazione, secondo le N.T.C. D.M 17 gennaio 2018, è C, sia nell'Area Nord che nell'Area Sud, ovvero categorizzati come: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ($V_{s,eq}$) compresi tra 180 m/s e 360 m/s". Il report completo delle HVSR si riporta in allegato.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche del sito, invece, nel nostro caso, si ritiene di classificare in base alle pendenze l'Area Nord e l'Area Sud in maniera differente. La normativa del 2018 permette adotta le seguenti classificazioni:

Categoria Caratteristiche della superficie topografica

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

Si riporta la carta delle pendenze, del sito con la distinzione tra Area Nord ed Area Sud.



Il sito denominato Area Nord ricade in categoria topografica (pendenza media $> 15^\circ$) in T2 “Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ”,

Il sito denominato Area Sud ricade in categoria topografica (pendenza media $\leq 15^\circ$) T1, ovvero “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione $i \leq 15^\circ$ ”.

Sulla base di queste considerazioni si può concludere dicendo che tutta l’area interessata dal progetto di variante, risulta a bassa pericolosità sismica.

Per quanto attiene per la valutazione delle azioni sismiche in un determinato sito l’elemento di conoscenza primario è rappresentato dalla “pericolosità sismica di base”. Questa viene espressa, per ogni stato limite, in funzione della probabilità di superamento P_{V_k} in termini di spettro di risposta in accelerazione per un suolo di categoria A.

I parametri che identificano la pericolosità sismica di base vengono forniti dalla norma (NTC 2018), per diversi periodi di ritorno su tutto il territorio nazionale in un numero di punti che definiscono un reticolo di riferimento. Pertanto, per ogni punto del territorio nazionale è possibile individuare quattro punti del reticolo in modo da definire una maglia: Il sito di sedime in oggetto ricade nel reticolo che viene di sotto riportato.

Descrizione sito : Enna - 94100, Sicily, Italy

Punti della maglia di riferimento: 47853, 48074, 48075, 47852;



La valutazione delle azioni sismiche sulle strutture viene condotta in relazione ad un periodo di riferimento τ che si

ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (§2.4.3 NTC 2018).

Nel caso specifico risulta:

$V_N = 50$ anni (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale)

$C_U = 2.0$ anni (Classe d'uso IV §2.4.2 NTC 2018)

$V_R = 100$ anni

Gli stati limite nei confronti dell'azione sismica, in relazione alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, si dividono in:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (**SLO**);

Stato Limite di Danno (**SLD**).

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**);

Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**).

Per ciascuno degli stati limite considerati viene associata una probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} (Tab. 3.2.I. NTC 2018).

Per ogni valore di P_{V_R} viene calcolato il periodo di ritorno medio T_R di un evento avente quell'entità attraverso la seguente relazione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

i valori così ottenuti vengono riportati nella seguente tabella:

Stato limite	P_{V_R} [%]	T_R [anni]
SLO	81	60
SLD	63	101
SLV	10	949
SLC	5	1950

L'elemento di conoscenza primario per la valutazione delle azioni sismiche in un determinato sito è rappresentato dalla "pericolosità sismica di base". Questa viene espressa, per ogni stato limite, in funzione della probabilità di superamento P_{V_R} in termini di spettro di risposta in accelerazione per un suolo di categoria **A**.

I parametri che identificano la pericolosità sismica di base sono:

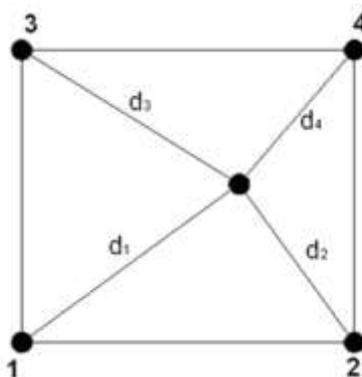
- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono forniti dalla norma (NTC 2018), per diversi periodi di ritorno T_R , su tutto il territorio nazionale in un numero di punti che definiscono un reticolo di riferimento. Pertanto, per ogni punto del territorio nazionale è possibile individuare quattro punti del reticolo in modo da definire una maglia. I parametri sismici di tale punto si ottengono da quelli della maglia attraverso la seguente relazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p : generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) da calcolare per il punto oggetto di studio;
- d_i : distanza tra il punto oggetto di studio e l' i -esimo punto della maglia;
- p_i : valore del generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) nell' i -esimo punto della maglia.



Nel caso specifico si ha:

Coordinate del sito

Latitudine (ED50): 37°.512

Longitudine (ED50): 14°.223

Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito		
Numero punto	Latitudine [°]	Longitudine [°]
47853	37°.5324	14°.2449
48074	37°.4828	14°.1815
48075	37°.4824	14°.2443
47852	37°.5328	14°.1820

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
Tempo di ritorno [anni]	949	1950	101	60
Accelerazione sismica [g]	0.101	0.13	0.048	0.039
Coefficiente Fo	2.646	2.699	2.486	2.506
Periodo T _c *[sec]	0.522	0.56	0.323	0.283

Una volta valutati i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base è possibile calcolare le ordinate spettrali degli spettri di risposta in accelerazione mediante le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g F_0 \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g F_0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Dove:

F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

T_C : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

$$T_C = T_C^*$$

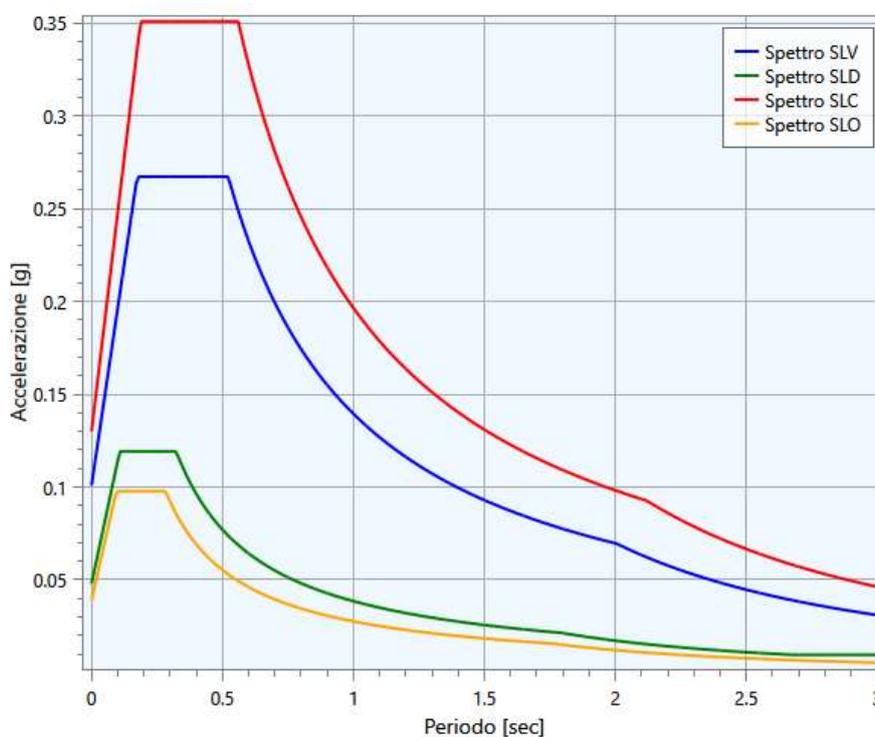
T_B : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

T_D : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Le forme spettrali così valutate vengono riportate per ogni stato limite nella figura seguente.



	Periodi caratteristici dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
T_B [sec]	0.174	0.187	0.108	0.094
T_C [sec]	0.522	0.56	0.323	0.283
T_D [sec]	2.004	2.12	1.792	1.756
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

	Periodi caratteristici dello spettro di risposta verticale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
T_B [sec]	0.05	0.05	0.05	0.05
T_C [sec]	0.15	0.15	0.15	0.15
T_D [sec]	1.00	1.00	1.00	1.00
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

PARTE QUARTA

CONCLUSIONI

Per quanto attiene i parametri geologico-tecnici definitivi di riferimento, questi sono riassumibili nelle seguenti tabelle (coordinate ED50):

Punti della maglia di riferimento: 47853, 48074, 48075, 47852;

Dati generali dell'opera:

Classe d'uso = IV
 Tipo costruzione = Opere ordinarie
 Vita nominale = 50 [anni]

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

SLO (Operatività):

TR [anni] = 60
 a_g [g] = 0.039
 F_0 = 2.506
 T_c^* [s] = 0.283

SLD (Danno):

TR [anni] = 101
 a_g [g] = 0.048
 F_0 = 2.485
 T_c^* [s] = 0.323

SLV (Salvaguardia della vita):

TR [anni] = 949
 a_g [g] = 0.101
 F_0 = 2.646
 T_c^* [s] = 0.522

SLC (Prevenzione del collasso):

TR [anni] = 1950
 a_g [g] = 0.130
 F_0 = 2.698
 T_c^* [s] = 0.561

Vita di riferimento V_r per l'azione sismica = 100

Suolo di fondazione: C

Categoria topografica: T2 Area Nord – T1 Area Sud

Parametri geologico-tecnici – Area Nord

Peso volume	2250 daN/m ³
Angolo attrito	30°
Coesione drenata	0,0 kPa
Costante di Winkler	10,00 Kg/cm ³
Costante di Winkler orizzontale	3,0 Kg/cm ³

Parametri geologico-tecnici – Area Sud

Peso volume	1932 daN/m ³
Angolo attrito	0,0°
Coesione non drenata	90 kPa
Modulo edometrico	99.800 kPa
Costante di Winkler	5,00 Kg/cm ³
Costante di Winkler orizzontale	1,50 Kg/cm ³

Da quanto si evince dalle pagine precedenti, l'area in esame risulta idonea alla realizzazione dell'opera in progetto in quanto:

- ✚ la realizzazione di semplici opere per la regimentazione delle acque superficiali, unitamente alle basse pendenze topografiche, assicureranno la stabilità morfologica del sito;
- ✚ il livello piezometrico profondo nell'Area Nord permette di escludere interferenze con le opere di fondazione;
- ✚ il livello piezometrico poco profondo nell'Area Sud porta a possibili interferenze con le opere di fondazione e pertanto si considera il terreno di fondazione come non drenato;
- ✚ non è stata riscontrata la presenza di strutture tettoniche, strutture carsiche o sinkhole più o meno superficiali (si rimanda a relazione geomorfologica presentata all'Autorità di Bacino sul sito di attenzione denominato "Miniera di Pasquasia");
- ✚ -il terreno di fondazione ha proprietà geomeccaniche e geologico tecniche assolutamente compatibili con le opere in progetto.

Per quanto attiene l'area esaminata, rientra in una zona, secondo le risultanze del presente studio geologico, a pericolosità geologica da moderata a nulla. In particolare, si ritiene, che le opere in progetto per la realizzazione del campo fotovoltaico sono assolutamente compatibili con le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche dell'area in esame.

In fase esecutiva, naturalmente, è opportuno verificare la rispondenza delle ipotesi fatte in questa fase di studio definitivo.

Da un punto di vista geologico tecnico e di pericolosità sismica si esprime nulla osta alla realizzazione delle opere in progetto.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

I GEOLOGI

DOTT. FRANCO PRIVITERA GAROZZO

DOTT. GIOVANNI OCCHIPINTI