



REGIONE
SICILIA



COMUNE DI
CARLENTINI



LIBERO CONSORZIO
COMUNALE DI
SIRACUSA

Proponente

Trina Solar STG S.r.l.
Sede legale: Piazza Borromeo N.14, 20123 Milano

Trinasolar



Struttura di Progettazione e sviluppo

Progettazione

IL PROGETTISTA



Ing. Marco Anfuso

Firma digitale
Ing. Anfuso

IL PROGETTISTA



Ing. Paolo Grande

Firma digitale
Ing. Grande

SISTEMA ENERGIA **REG**RAN

R.C. Ing. Alessandro Cappello

Collaboratori

Dott. Ing. Salvatore Falla
Dott. Arch. Mirko Pasqualino Re
Dott. Ing. Valentino Otopacca

Firma digitale
tecnico



Opera

PROGETTO CARLENTINI

Progetto di impianto FV a terra di potenza pari a 50,08 MW in DC e 40,26 MW in immissione e delle opere connesse da installarsi nel territorio del comune di Carlentini -SR-

Oggetto

Folder:
VIA_2

Nome Elaborato:
VIA2_REL04_Relazione Geologica

Descrizione Elaborato:
Relazione Geologica

Sez.
R

Codice Elaborato:
REL_04

00

08/07/2022

Emissione per progetto definitivo

Regran

Trina Solar STG S.r.l.

Rev.

Data

Oggetto della revisione

Elaborazione

Verifica e Approvazione

Scala: -

Formato: A4

COMUNE DI CARLENTINI

Libero Consorzio Comunale di Siracusa

Oggetto: **PROGETTO DI UN IMPIANTO SOLARE
FOTOVOLTAICO DI 50.08 MWP E 40,261
MW IN IMMISSIONE.
SITO IN “C.DA TENUTA GRANDE”**

Ditta: TRINA SOLAR STG S.r.l.

STUDIO GEOLOGICO –GEOMORFOLOGICO

Dott. Geol. Carmelino Carnazzo



1. Premessa

Su incarico della “REGRAN s.r.l. -Renewable Energies High Engineering-“ in nome e per conto della committente ditta Trina Solar STG S.r.l., è stato eseguito uno studio geologico – geomorfologico finalizzato ad accertare la fattibilità dell’intervento relativo alla realizzazione di: **“Progetto di impianto FV a terra di potenza pari a 50,08 MW in DC e 40,26 MW in immissione e delle opere connesse da installarsi nel territorio del comune di Carlentini -SR-“**.

Scopo del presente lavoro è stato dunque quello di definire precipuamente gli aspetti di natura: morfologica, stratigrafica, geologica, tettonico - strutturale, idrogeologica, sismica ed indicativamente geotecnica; tutto ciò al fine di verificare la compatibilità delle previsioni progettuali con le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell’area; ottemperando dunque anche a quanto riportato nella Circolare N°3/DRA del 20.06.2014 - Prot. N.28807 del 20.06.2014 - dell’Assessorato Territorio ed Ambiente della Regione Siciliana.

Lo studio è stato pertanto avviato innanzitutto attraverso preliminari ricognizioni e rilievi in superficie, nell’area di stretto interesse ed in un intorno significativo dell’area di progetto, finalizzati a rilevare prevalentemente le caratteristiche geologiche e geomorfologiche.

Per quanto attiene all’acquisizione di utili e necessarie informazioni sulle specifiche ed intrinseche caratteristiche dei litotipi interessati, poiché fu a suo tempo (Gennaio 2008) condotto analogo studio sugli stessi terreni (Complesso Integrato Tenuta Grande) per cui fu sviluppato un adeguato programma di indagini geognostiche, geofisiche e prove in situ per l’individuazione delle caratteristiche geomeccaniche, sia pure indicativamente, dell’area oggetto dell’intervento in proposta, si è ritenuto superfluo ripeterne l’esecuzione e pertanto è ad esse che si farà riferimento, riportandoli peraltro in allegato.

All’epoca il programma di indagini fu così articolato:

- ✚ *Esecuzione di n. 3 sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo, di cui uno spinto fino a 30 metri ed attrezzato per l'esecuzione di una prova sismica Down Hole, durante il corso dei sondaggi è stato prelevato n°1 campione indisturbato ed uno a disturbo limitato (stante l'impossibilità del prelievo), sono state altresì eseguite n° 3 prove in foro di tipo S.P.T.;*
- ✚ *Esecuzione di n.5 pozzetti esplorativi realizzati con escavatore meccanico;*
- ✚ *Esecuzione di n° 1 prova sismica in foro (Down Hole) nel sondaggio denominato S1, eseguita per conto dello scrivente, dalla Ditta "GEOWAVES" del Dott. Geol. Francesco Failla;*

- ✚ *Analisi e prove geotecniche di laboratorio su n°2 campioni prelevati nel corso dei sondaggi (S1 ed S2), eseguite, su incarico dello scrivente, dal laboratorio "M.T.R." del Dott. Geol Filippo Furia;*

- ✚ *Esecuzione di n. 5 Prove Penetrometriche dinamiche realizzate con strumentazione DPM 030 Pagani Geotechnical distribuite, compatibilmente con la possibilità di accesso, in modo da coprire omogeneamente l'area interessata dall'intervento.*

Sulla scorta di quanto acquisito attraverso il rilievo geologico di dettaglio e le indagini eseguite, sono stati sviluppati gli elaborati grafici, che riassumono le risultanze a cui si è pervenuti, e descritto nelle note che seguono quanto acquisito.

Figurano in allegato alla presente relazione, come parte integrante ed essenziale:

- ✚ *Corografia, scala 1:25.000;*
- ✚ *Aerofotogrammetria-Ortofoto, scala 1:10.000;*

- ✚ Cartografia P.A.I. del Bacino del Fiume San Leonardo:– Carta del rischio idraulico, Carta dei Dissesti, Carta del rischio e della pericolosità geomorfologica, scala 1:10.000
- ✚ Planimetria del lotto, con ubicazione delle indagini eseguite e traccia dei profili geologici, scala 1:5.000;
- ✚ Colonnine stratigrafiche pozzetti esplorativi / sondaggi geognostici, rispettivamente scala 1: 50 e scala 1: 100;
- ✚ Elaborazione delle prove SPT in foro;
- ✚ Appendice fotografica.

Figurano, altresì, come allegato fuori testo, anch'essi parte integrante ed essenziale del presente lavoro:

- ✚ Carta Geologica, scala 1:5.000;
- ✚ Carta Idrogeologica, scala 1:5.000;
- ✚ Carta Geomorfologica, scala 1: 2.000;
- ✚ Carta Litotecnica, scala 1:2.000;
- ✚ Carta della Pericolosità Sismica, scala 1:2.000;
- ✚ Carta delle Pericolosità Geologiche, scala 1:2.000;
- ✚ Profilo Geologico-schematico, scala 1:200;
- ✚ Fascicolo indagini geofisiche;
- ✚ Fascicolo indagini prove penetrometriche dinamiche;
- ✚ Fascicolo prove di laboratorio.

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area di progetto ricade nel territorio del Comune di Carlentini (SR), in una area indicata nel vigente Piano Regolatore Generale come “zona E – verde agricolo”.

L'intervento è ubicato in Contrada Tenuta Grande prevede la realizzazione di un grande Parco Fotovoltaico di potenza pari a 46,261 MWP, sviluppati attraverso l'installazione di batterie di pannelli fotovoltaici attrezzati con dispositivo automatico ad “inseguitore”.

L'area oggetto del presente lavoro, di proprietà della SERCOM S.p.A., ha una dimensione di 443.912 mq e catastalmente comprende le seguenti Particelle 147, 148, 149, 217, 223, 224, 124, 221, 220 del Foglio n. 6 nel catasto terreni del Comune di Carlentini, inoltre la stessa società ha la disponibilità (opzione) della adiacente area censita nel Comune di Carlentini al Foglio n.6 p.lle 140, 159, 163 A, 163 B, 164, 218, 222, 225 che occupa una superficie di 169.554 mq, per cui complessivamente la superficie totale a disposizione della Società SERCOM S.p.A. è di 613.466. mq.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA

Il sito oggetto del presente studio geologico, cartograficamente, ricade per la maggior parte dell'estensione nella Tavoletta "Lentini" IV NO del Foglio 274 della Carta d'Italia edita dall'I.G.M., altre porzioni dell'area di progetto si trovano nella Tavoletta "Villaggio Delfino" III SO del Foglio 270 e nella Tavoletta Brucoli IV SO del Foglio 274.

Per quanto riguarda la competenza amministrativa, la maggior parte dell'area di progetto, che interessa nella fattispecie l'intervento in progetto, ricade all'interno del territorio del Comune di Carlentini, mentre una modestissima porzione, peraltro non oggetto di interventi, rientra nel territorio del Comune di Augusta (vds. elaborati grafici, varie scale).

Dal punto di vista topografico il sito ricade in C.da "Tenuta Grande", poco distante dal Fiume San Leonardo, dal quale dista nel punto più prossimo circa 600 metri.

Morfologicamente l'area oggetto dell'intervento inserita in un contesto areale più ampio, ricade in un territorio in cui ampia diffusione hanno i depositi alluvionali del Fiume San Leonardo, poggiati perlopiù su una formazione argillosa caratterizzata nelle porzioni emergenti (poggi) da versanti a modesta acclività e con morfologia di tipo "mammellonare", che ampio sviluppo trovano nel territorio soprattutto verso Ovest.

In particolare, nell'area di progetto affiorano, al di sotto di uno strato di terreno agrario, esclusivamente le alluvioni recenti costituite da una sequenza, pressoché omogenea, di limi argillosi e sabbie limose, come è stato evidenziato durante le esecuzioni delle indagini preliminari, in particolare con i sondaggi meccanici ed i pozzetti esplorativi.

Topograficamente l'assetto originario del piano campagna è tipico di un deposito alluvionale recente sub-orizzontale, mentre si possono rilevare ad ovest del sito rilievi costituiti: da calcareniti sabbiose pleistoceniche, da vulcaniti plio-pleistoceniche e dalle argille grigio-azzurre (vds. Carta Geologica, scala 1:5.000).

Il Fiume San Leonardo, rappresenta l'elemento fisiografico dominante, e come specificato prima, dista dal sito di progetto circa 600 m, esso ricade nella parte Sud-Orientale della Sicilia e si estende per circa 500 Km²; si sviluppa a partire dai centri abitati di Vizzini e Buccheri sino al mare Ionio, sfociando in prossimità del Villaggio San Leonardo, al confine tra i territori di Augusta e Carlentini.

Questa parte terminale del Bacino idrografico del Fiume San Leonardo si inserisce tra il Bacino del Fiume Anapo a Sud ed il Bacino del Fiume Gornalunga a Nord, sviluppandosi totalmente all'interno della provincia di Siracusa, tranne una piccola porzione a Nord che ricade in provincia di Catania.

L'attuale assetto morfologico dell'area d'intervento discende sia dalle caratteristiche litologiche e giaciture delle formazioni affioranti sia ai caratteri evolutivi della piana alluvionale del Fiume San Leonardo, quest'ultimi in particolare legati alle strutture tettoniche della regione.

L'idrografia del Fiume San Leonardo formata da una serie di corsi d'acqua a regime tipicamente torrentizio, con evidenti deflussi superficiali solamente nella stagione invernale, soprattutto in occasione di precipitazioni intense e di una certa durata, questi corsi d'acqua si presentano asciutti nel periodo estivo sia per la ridotta o nulla piovosità e sia per la presenza di un clima con elevata temperatura che favorisce i fenomeni di evaporazione ed evapotraspirazione.

Inoltre, il deflusso superficiale è limitato oltre che dalle cause climatiche, dalla discreta permeabilità delle formazioni affioranti dovuta anche ad una serie di fratturazioni presenti nelle rocce competenti che facilitano l'infiltrazione nel sottosuolo e quindi in falda delle acque piovane.

L'asta del Fiume San Leonardo, che si estende per circa 50 Km, nel suo tratto finale, ossia in prossimità dall'area investigata presenta uno sviluppo dell'asta fluviale di tipo meandriforme, segno questo che trattasi di una fase "senile".

Nella parte terminale del Fiume San Leonardo, per garantire la fruibilità di queste aree, a vocazione prevalente agricola, sono stati realizzati interventi di arginatura e di bonifica attraverso la realizzazione di canali e fossi di guardia che convogliano le acque e successivamente attraverso impianti idrovori, che servono a prelevare l'acqua da quote più basse (rispetto all'alveo del Fiume) ed immetterla nello stesso per consentirne il suo facile allontanamento verso il mare, peraltro poco distante.

L'indagine diretta sui luoghi, rivolta anche ad accertare l'eventuale presenza di fenomeni di dissesto, ha evidenziato che il sito in esame non presenta segni di erosione superficiale, nè tanto meno profonda.

L'intervento di progetto è ubicato in una area estremamente pianeggiante con classe di pendenza 0-5%; le quote rilevate variano da 0,9 m s.l.m., rilevata nella porzione più a nord-est, a circa 3.0 m nella parte sud-ovest dell'area di progetto.

L'area presenta diversi canali di drenaggio delle acque, i quali captano e convogliano le acque ad un grosso canale di raccolta (posto lungo il perimetro esterno lato Nord dell'area), dove vengono recapitate le acque via via raccolte sia nell'area oggetto d'indagine che nei terreni posti più a Nord; in prossimità del Fiume S. Leonardo, in C.da Gelsari mediante idrovore vengono sollevate e riportate nella loro sede naturale ovvero nell'alveo del Fiume San Leonardo.

La caratteristica dominante dell'area di indagine è rappresentata da ampie superfici pianeggianti solcate da diffuse opere di drenaggio superficiale tra loro prevalentemente ortogonali (tranne che per i canali maggiori che convergono in quello di recapito finale, con andamento e sviluppo lineare a "lisca di pesce").

Pertanto, le condizioni topografiche, morfologiche e geostatiche ritrovate conferiscono all'area indagata un grado di stabilità geomorfologica più che soddisfacente nel breve come nel lungo periodo.

Nella cartografia PAI, scala 1:10.000: Carta del rischio idraulico, Carta dei Dissesti e Carta della pericolosità e rischio geomorfologico, l'area in esame non risulta minimamente interessata da episodi tali da poterne inficiare la realizzazione.

Alla luce di quanto testè asserito risulta altresì soddisfatto quanto prescritto dal Regolamento Edilizio Comunale di Carlentini -Art. 6 comma q) - in ordine alla stabilità generale dell'area, previsto per gli interventi in progetto.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – IDROGEOLOGICO - STRUTTURALE

Geologia

Le ricognizioni sui luoghi, le osservazioni dirette eseguite in un adeguato intorno dell'area in esame, hanno evidenziato la marcata presenza, in affioramento e nel primo substrato di litotipi sedimentari alluvionali afferenti alle più recenti divagazioni fluviali del Fiume San Leonardo, successivamente sono state intercettate le argille grigio-azzurre alla profondità di 29.80 mt. durante l'esecuzione del sondaggio S1.

Si fornisce di seguito una descrizione litologica dei litotipi presenti nella area di indagine e/o poco al di fuori di essa, riconosciuti:

Terreno Agrario

Rappresenta l'orizzonte superficiale a partire dall'originario piano campagna; presenta tessitura limo-argillosa prevalente, con una forte componente organica che gli consente di essere totalmente humificato e gli conferisce una colorazione bruno intensa.

Si tratta della porzione più superficiale dei depositi alluvionali sottostanti che nel corso del tempo ha subito fenomeni di alterazione ed humificazione per la presenza di coltivazione, perlopiù di tipo cerealicolo/foraggero, secondo la vocazione agricola dell'area, a tutt'oggi ancora praticata.

Lo spessore investigato direttamente attraverso l'esecuzione dei pozzetti esplorativi e dei sondaggi è risultato essere compreso fra 0.70 m (Pz1, Pz2 e Pz3) e 1.2 m (Pz5).

Secondo quanto riportato nella "Carta dei suoli della Sicilia" (Autori: Ballatore e Fierotti) trattasi di **Vertisuoli** dal latino "vertere", ossia rimescolare.

Difatti la principale caratteristica di questi suoli è il fenomeno del rimescolamento dovuto alla natura prevalentemente della abbondante frazione argillosa, il cui reticolo facilmente espandibile e contraibile (geotecnicamente noto come Limite di ritiro) con l'alternarsi dei periodi umidi e secchi, provoca caratteristiche crepacciature, entro le quali, trasportate dal vento o dalle prime acque o dalla gravità, cadono i grumi terrosi (self-mulching) formati in superficie.

Il profilo dei vertisuoli è di tipo A-C, di notevole spessore ed uniformità che non di rado può raggiungere anche i due metri.

Alluvioni Recenti e Depositi di spiaggia

Si tratta di depositi fluviali da attribuire ad antiche divagazioni del Fiume San Leonardo, tessituralmente presentano una grande variabilità litologica, con la presenza di tutte le frazioni granulometriche passanti dai limi argillosi ai ciottoli anche grossolani, attraverso le sabbie.

La presenza nel sito di questa variabilità è conseguenza diretta dalla modalità di deposizione dei sedimenti continentali, connessa alle antiche divagazioni fluviali in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi che si sono succeduti nel tempo, è strettamente legata alla competenza della corrente, ovvero alla capacità di investire aree più estese a partire dall'asse dell'incisione ed alla maggiore capacità di trasporto solido (fase "giovanile" del corso d'acqua).

Nel caso specifico, attraverso, i sondaggi eseguiti, i pozzetti esplorativi realizzati e le prove in situ, è stato possibile rilevare e definire la variabilità granulometrica del deposito alluvionale.

In particolare, nel sito si rileva la presenza di una sequenza pressoché costante ed omogenea su tutta l'area investigata di un primo strato a granulometria limoso-argilloso ritrovato ad una quota media di circa 0,7/1.20 m dal piano di campagna, ovvero al di sotto del terreno agrario, cui segue uno strato sabbioso limoso fino alla profondità di 22,50 m dal p.c. dopo di che si registra la presenza di un orizzonte a ciottoli fino a decimetrici (alla base del deposito) in matrice limo-sabbiosa-argillosa fino a circa 28,50 mt dal p.c., evidentemente rilevato in corrispondenza del sondaggio S1 che ha raggiunto la profondità di 31 metri.

Limitatamente alla porzione sommatiale una analoga stratigrafia è stata ritrovata negli altri sondaggi eseguiti nell'area di progetto, ovvero nei sondaggi S2 e S3 spinti rispettivamente alle profondità di 7 e 9 metri dal piano di campagna.

Tutto il pacco alluvionale poggia su una formazione assai diffusa nella zona, con cospicua potenza ed estensione areale, affiorante laddove non occultata dai depositi fluviali di cui si è detto, questa formazione è nota in letteratura geologica

corrente col nome di “Argille grigio-azzurre” (Pleistocene inf.-medio) è stata individuata esclusivamente nel sondaggio S1 a profondità maggiori di 28,40 metri

In prossimità della linea di costa i depositi continentali diventano vere e proprie sabbie litorali passanti lateralmente, o verso l’entroterra o verso l’alveo dei fiumi, a degli episodi fluviali non di rado di tipo terrazzato.

I depositi di spiaggia sono dati da sabbie fini silicee di colore grigio-giallastre fino a marrone, a consistenza da sciolta ad alquanto addensate, uniformi, e con stratificazione incrociata non sempre evidente ma tipiche di ambiente fluvio-deltizio.

Questi depositi continentali, nell’area rilevata, presentano spessori variabili, tra 5 ad oltre 30 metri.

Argille grigio-azzurre

Nel sito in esame sono state rinvenute nel substrato profondo al di sotto del deposito alluvionale precedentemente descritto; sono costituite da argille giallastre passanti progressivamente verso il basso ad argille grigio-azzurre con venature giallastre fino ad assumere una connotazione cromatica grigio azzurra uniforme e ben definita.

La porzione superficiale si presenta giallastra, limosa ed a tratti sabbiosa, alterata e degradata, mediamente plastica; questo orizzonte è stato intercettato solo in S1 alla profondità di 28,40 dal p.c..

L’età a cui è riferita la formazione nella letteratura corrente è Pleistocene inferiore-medio.

Calcareni bianco-giallastre

Si ritrovano in affioramento con marcata continuità in nell'area intorno al sito, in particolare si trovano con una discreta continuità, spostandosi verso i centri abitati di Carlentini e Lentini.

Trattasi di rocce tenere, a tratti friabili, costituite da granuli carbonatici e detritici associati a frammenti di fossili insieme, talvolta, ad elementi arrotondati lavici, cementati da calcite secondaria.

Il grado di cementazione è estremamente variabile sia verticalmente che orizzontalmente e sovente anche all'interno dello stesso strato, con intercalati partimenti sabbiosi, più frequenti nelle porzioni sommitali.

Progressivamente verso il basso, il grado di cementazione tende ad aumentare, diminuendo contestualmente lo stato di fratturazione, già di per se molto scarso in questa formazione.

Peraltro, nel circondario non è raro trovare pareti verticali di origine antropica inequivocabilmente imputabili a cave ormai dimesse in cui, in un recente passato, veniva condotta l'attività estrattiva di blocchetti arenacei largamente usati nelle costruzioni locali.

La colorazione tende ad assumere una tonalità bianco-giallastra.

Nell'area in esame lo spessore massimo può essere stimato intorno a 25-30 m; oltre tale profondità, si possono rinvenire le sottostanti vulcaniti plio-pleistoceniche.

L'età a cui è riferita l'unità stratigrafica nella letteratura corrente è Pleistocene inferiore.

Vulcaniti plio-pleistoceniche

Trattasi di prodotti eruttivi, generalmente di ambiente subaereo, dove i prodotti lavici predominano su quelli vulcanoclastici.

Le lave si presentano di colore grigio-scuro talvolta rossastre e vacuolari, interessati da piani di discontinuità dovute sia a fessurazione singenetica (lave colonnari) che a fatturazione secondaria, con sistemi irregolari ma frequenti, variamente intersecati con i primi, dando luogo a prismi giustapposti; le fratture si presentano comunque serrate.

Le vulcanoclastiti, geologicamente sono rappresentate da breccie ialoclastiche con frammenti di pillows e brecciole ialoclastiche a granulometria medio-fine, si trovano nella parte alta della serie o intercalate tra i livelli lavici.

Nello specifico dell'area indagata lo spessore è valutabile intorno ai 100/150 metri; l'età attribuita dalla letteratura competente è Plio-Pleistocene Inferiore.

Formazione Carlentini

Trattasi di una successione di prodotti vulcanoclastici, ialoclastiti e lave di composizione basaltica in rapporti giacaturali complessi, cui si intercalano discontinuamente due livelli di calcari biohermali (non affioranti nella zona di stretto interesse).

Dall'analisi dei caratteri deposizionali e delle facies granulometriche, questi prodotti si possono inserire nel quadro di un'attività eruttiva prevalentemente subacquea, in acque poco profonde, in cui il durante la fase eruttiva, il magma a contatto con l'acqua del mare, esplose, consentendo la nebulizzazione e la frantumazione di elevate quantità di materiale che, ricadendo nelle aree limitrofe, generava i potenti spessori vulcanoclastici oggi rilevabili.

La distribuzione areale delle varie facies fa pensare ad una deposizione primaria dei prodotti vulcanoclastici.

Ove le condizioni batimetriche lo consentivano e durante i periodi di stasi dell'attività vulcanica, potevano instaurarsi piccole barriere coralline (calcari biohermali).

Le lave hanno composizione petrografica di tipo basaltica, presentano una colorazione grigio scura, sono generalmente piuttosto alterate, a volte si presentano vacuolari e/o con desquamazione tipo cipollare, e mediamente fratturate.

Le vulcanoclastiti sono caratterizzate da estrema variabilità litologica; sono infatti presenti: breccie vulcanoclastiche, clasti carbonatici e frammenti basaltici e tufacei a tessitura variabile immersi in una matrice cineritica e calcarea; ialoclastiti tufacee a laminazione sottile, alternanza di livelli cineritici e lapillosi a cementazione carbonatica; vulcanoclastiti tufitiche più o meno classate e fratturate; inoltre, generalmente in superficie, si possono presentare alquanto argillificate per processi di alterazione: vulcanoclastiti caolinitizzate.

I calcari biohermali, non affioranti nell'area di stretto interesse, sono litologicamente delle breccie calcaree ben cementate, con abbondanti resti di organismi fossili di mare poco profondo (briozoi e coralli); la durezza risulta alquanto elevata mentre la fratturazione può essere contenuta per i processi di ricristallizzazione della calcite di deposizione secondaria; a volte si presentano "cariati" a causa di processi di dissoluzione chimica che danno luogo a modeste cavità, senza per questo inficiare l'aspetto massivo in affioramento.

Il grado di alterazione e cementazione è estremamente variabile sia verticalmente che orizzontalmente e sovente anche all'interno dello stesso strato.

Queste caratteristiche permettono di assimilare i litotipi sia carbonatici che vulcanoclastici e lavici ad un mezzo discontinuo semilapideo, caratterizzato da un elevato grado di anisotropia strutturale, che si può accentuare con la presenza di discontinuità (diaciasi e fratture) nell'ambito degli strati più litoidi.

L'età a cui è riferita l'unità stratigrafica nella letteratura corrente è Miocene Medio-Superiore (Tortoniano).

4.1 Aspetti Idrogeologici

Sotto il profilo idrogeologico i terreni ritrovati presentano caratteristiche differenti, in quanto si configurano come termini a diversa permeabilità.

I depositi alluvionali e di spiaggia presentano permeabilità di tipo primaria per porosità alquanto variabile, in funzione granulometria e della frazione percentuale sabbiosa e/o ghiaiosa in essi contenuta.

Laddove risultano prevalenti le frazioni limo-argillose, la permeabilità è molto ridotta, ostacolando notevolmente il deflusso delle acque in sottosuolo, o come in questo caso confinando parzialmente la falda sottostante presente nel deposito sabbioso limoso.

Il coefficiente di permeabilità presenta un valore medio compreso fra 10^{-2} e 10^{-5} cm/sec.

Le argille sottostanti, che si ritrovate ad una profondità di 28,40 m risultano praticamente impermeabili, pertanto esse non sono sede di alcuna falda acquifera, a questa Formazione si possono associare valori del coefficiente di permeabilità compresa tra 10^{-5} e 10^{-7} cm/s; rappresentano contestualmente sia il letto della falda acquifera superficiale ed il tetto del sottostante acquifero profondo, presente in seno ai sottostanti termini geologici, conferendogli caratteristiche di confinamento.

Nella specifica area, a seguito delle indagini effettuate, (pozzetti esplorativi, sondaggi geognostici, è stata rilevata la presenza costante di una falda acquifera superficiale, nell'ambito degli orizzonti sabbiosi presenti, ad una profondità media compresa tra -3.0 e -3.5 m dal p.c.

Inoltre, la presenza di orizzonti limo-argillosi nelle porzioni sommitali della sequenza alluvionale, conferisce caratteristiche di confinamento alla falda, tant'è che a seguito dell'esecuzione dei pozzetti esplorativi quanto dei sondaggi, di cui uno peraltro attrezzato come piezometro si registrava una repentina risalita delle acque in falda fino a -1.20 mt dal p.c.

La falda presente è strettamente legata all'andamento delle precipitazioni, in quanto da questa direttamente alimentata, con escursioni anche consistenti in funzione dell'intensità e/o persistenza delle piogge.

A tal proposito si precisa che, il rilievo della falda è avvenuto nella stagione invernale 2007-2008, caratterizzata, in particolare nel mese di dicembre e gennaio da eccezionali abbondanti precipitazioni, per cui il livello piezometrico riscontrato si pone già a quote medio-alte, difficilmente raggiungibili in altre stagioni, ma verosimilmente riscontrabile anche in altre annate.

Per le considerazioni sopra effettuate, si precisa già in questa sede, che non dovranno essere trascurati tutti gli opportuni e necessari provvedimenti atti a monitorare, contenere ed a drenare i livelli massimi della falda in caso di risalita della stessa.

La falda profonda, si riscontra solo superando il letto impermeabile costituito dalle argille grigio-azzurre, nei termini calcarenitici e/o vulcanici sottostanti, confinata dalla presenza del pacco argilloso sovrastante che inibisce qualsiasi forma di risalita.

4.2 Tettonica

I caratteri strutturali dell'area di indagine sono ricollegabili al più vasto quadro tettonico dell'Avampaese Ibleo, il quale costituisce uno dei principali elementi strutturali della Sicilia orientale.

L'Altipiano Ibleo, in un contesto geodinamico più ampio, rappresenta, il margine indeformato della placca africana, rimasto relativamente indisturbato durante le principali fasi tettonogenetiche verificatesi nell'Isola.

Esso, è tuttavia, interessato da dislocazioni consistenti in fitti sistemi di faglie prevalentemente normali ed in parte a componente trascorrente che,

nell'insieme, definiscono un quadro tettonico delineatesi per il settore occidentale già nel Miocene Superiore ed in epoca posteriore fino all'Olocene per quello orientale.

In particolare, il margine settentrionale del Plateau, in seno al quale ricade il sito in esame, è solcato da sistemi di faglie dirette ad orientazione **NE-SW** le quali, a *Gradinata*, delimitano una serie di *Graben*, dei quali il **Graben Sortino-Monte Carrubba** ed il **Graben Lentini-Scordia** sono i più importanti.

Tali graben costituiscono le strutture bordiere del Plateau prima della sua definitiva inflessione e sottoscorrimento al di sotto della *Falda di Gela* ad ovest e la scomparsa ad est del Plateau Ibleo, attraverso un meccanismo di faglie dirette, nel Mar Ionio.

Nell'area in studio, in linea generale, si rinvengono, strutture di dislocazione positiva mediante "blocchi fagliati", *Horst e/o Gradinata*, pilastri tettonici, aventi orientazione **NE-SW**, dunque ad andamento parallelo alla *Scarpate Ibleo-Maltese*, e **E-W**, quest'ultimi, generalmente, molto più frequenti nella fascia costiera.

In tale contesto l'area in esame si colloca in una zona esterna della **Gradinata** del **Graben** di *Scordia-Lentini-Agnone Bagni* che abbassa i termini plio-pleistocenici al di sotto delle alluvioni del San Leonardo,

5. SISMICITA' DELL'AREA

Questo settore della Sicilia Sud Orientale risulta storicamente interessato da terremoti fra i più energetici mai registrati sul territorio italiano.

L'analisi dei dati geologici ha consentito di individuare le principali strutture tettoniche che possono generare terremoti forti e moderati nell'area.

Queste possono essere suddivise in due gruppi costituiti rispettivamente dalle faglie appartenenti al sistema della *Scarpata Ibleo-Maltese*, che attraversano il Golfo di Catania, ubicate a mare, e dalle *Faglie del settore Ibleo*.

Mentre per il primo gruppo si ha una definizione meno accurata, il rilevamento delle strutture tettoniche iblee è basato sullo studio delle faglie quaternarie e delle evidenze geomorfologiche e stratigrafiche di dislocazioni superficiali recenti (Pleistocene superiore – Olocene) che esse presentano.

I dati raccolti indicano chiaramente che le strutture tettoniche quaternarie presenti si muovono in occasione di moderati e forti rilasci di energia sismica; la componente del movimento legata a scorrimento asismico non è mai dominante.

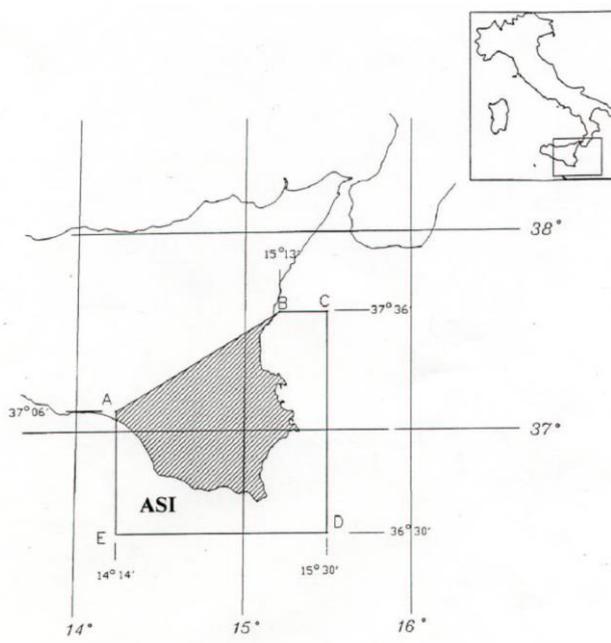
La definizione delle dimensioni dei terremoti caratteristici associati alle strutture tettoniche individuate si basa sui dati raccolti relativi all'assetto strutturale e geodinamico dell'area investigata, lo stile tettonico delle faglie presenti, il loro tasso di scorrimento, il rigetto superficiale tipico che ci si può attendere per ogni terremoto e la lunghezza cosismica superficiale di rottura.

Il riconoscimento di uno stile di fagliazione distensivo, in un settore interessato da magmatismo recente ed assottigliamento crostale, vincola lo spessore dello strato sismogenetico a valori non elevati.

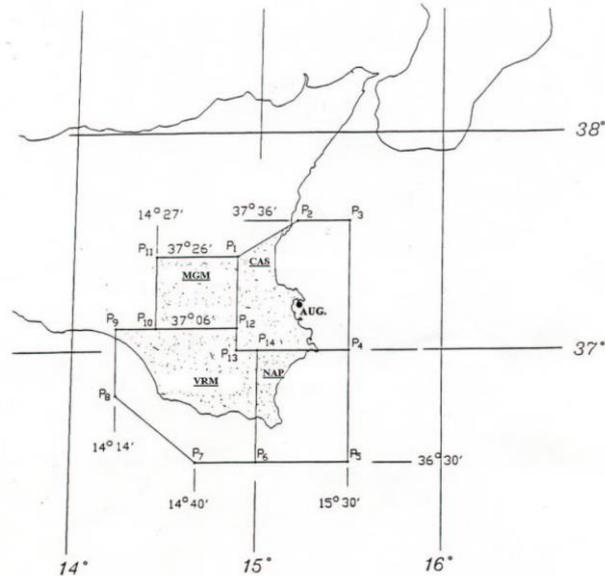
Ciò è in accordo con i dati strumentali a disposizione, secondo i quali la profondità ipocentrale tipica dei terremoti in Sicilia Sud-Orientale, ad eccezione ovviamente dell'area vulcanica etnea, presenta valori sostanzialmente analoghi a quelli dell'Appennino (ca. 8÷15 Km).

Anche ammettendo che sia possibile generare forti terremoti in quest'area a profondità ipocentrali maggiori, il che non può essere escluso a causa della mancanza di dati e di studi approfonditi sulle condizioni di sforzo (stress drop) esistenti a livello crostale in questo settore, la documentata evidenza dei fenomeni di fagliazione superficiale, unitamente alla lunghezza di rottura massima calcolata intorno ai 50 Km, lungo le maggiori strutture tettoniche di questo settore, mostrano come lo spessore sismogenetico del settore investigato non possa raggiungere valori superiori ai 20-25 Km.

Considerando una opportuna delimitazione in zona sismogenetica dell'area sismica corrispondente alla Sicilia Sud Orientale, denominata semplicemente *Area Sismica Iblea – ASI* (Decanini e Oliveto 1994; Decanini et al. 2000), non coincidente esattamente con le corrispondenti zone sismogenetiche (ZS78, ZS79) del GNDT/CNR proposte da Scandone et al. (1992), a sua volta suddivisa in altri quattro sub-settori (Decanini et al. 2000), è stato possibile valutare l'influenza di una distribuzione spaziale differenziata della sismicità.



Posizionamento e definizione dell'Area Sismica Iblea (ASI).



Divisione dell'Area Sismica Iblea (ASI) in settori sismogenetici.

Per quanto concerne i terremoti di scenario, assumendo che il settore CAS (e in particolare il sistema della Scarpata Ibleo-Maltese) abbia un ruolo determinante per gli eventi più energetici, si può ragionevolmente accettare che al *Terremoto di Scenario Disastroso* (evento eccezionale con periodo medio di ritorno di circa 500 anni) corrisponda una magnitudo $M=7,4$ circa, mentre al *Terremoto Forte* (evento occasionale con periodo medio di ritorno dell'ordine di 130 anni) corrisponda una magnitudo dell'ordine di $M=6,4$.

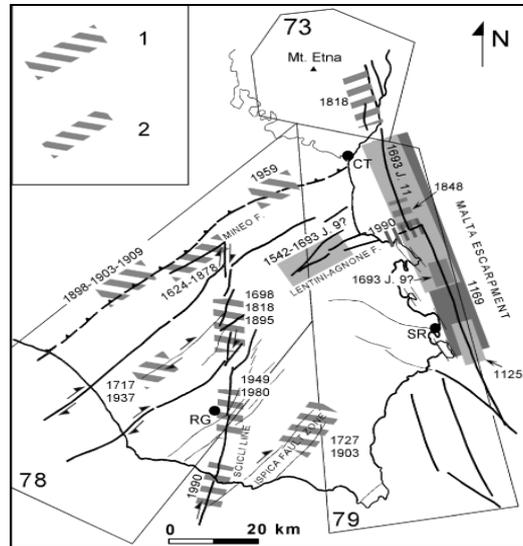


Fig.1 - Modello sismogenetico schematico della Sicilia sud-orientale.

1) localizzazione e lunghezza calcolata (in scala) delle rotture degli eventi con $M > 5.2$;
2) rotture con lunghezze inferiori a 7 km. I punti interrogativi indicano correlazioni dubbie.

Le faglie della Scarpata Ibleo-Maltese (fig. 1) sono generalmente interpretate come le strutture tettoniche responsabili degli eventi sismici maggiori della Sicilia Orientale.

In accordo con i dati di letteratura, queste sono le faglie responsabili dei grandi terremoti storici della Val di Noto (Barbano e Cosentino, 1981; Barbano, 1985; Lombardo, 1985; Boschi et al., 1995; 1997).

I dati di prospezioni sismiche indicano chiaramente come le faglie che attraversano il Golfo di Catania determinino rigetti dell'ordine di diversi metri nei sedimenti più superficiali del fondo marino.

Inoltre, tali dati dimostrano inequivocabilmente che i caratteri strutturali (cinematica, geometria, segmentazione) di queste faglie sono compatibili con rotture superficiali cosismiche che possono raggiungere lunghezze dell'ordine di circa 50 Km, vale a dire le lunghezze di rottura fisicamente necessarie per rilasci di energia sismica dell'entità di quelli calcolati per l'evento del 1169 e del 1693.

L'ordine di grandezza delle dimensioni di questi eventi risulta comunque compatibile con dimensioni della rottura superficiale che possono avvenire solo in corrispondenza delle faglie maggiori esistenti nell'area, vale a dire quelle appartenenti al sistema della Scarpata di Malta.

Infatti, non esistono in affioramento a terra strutture tettoniche di dimensioni tali da produrre un campo di effetti al suolo confrontabile con quello descritto per il terremoto del 1693.

Il Graben di Scordia-Lentini, con presenza di faglie prevalentemente normali di lunghezza dell'ordine di 18 km ed un probabile prolungamento in mare di circa 10 Km, costituisce un'altra struttura sismogenetica presente nell'ASI che può interessare il territorio in esame.

Ad essa può essere associato il terremoto del 1542 ($M=6,8 - I_0=X$).

Non sono noti indizi superficiali di attività posteriore al Pleistocene medio, ma l'occorrenza di almeno un evento significativo indicherebbe attività recente.

6. VERIFICA DELL'AZIONE SISMICA

La valutazione della pericolosità sismica di base, intesa come la probabilità che si verifichi un evento sismico di intensità superiore ad una soglia stabilita in una determinata area e in un determinato intervallo di tempo, in genere viene effettuata attraverso una ben consolidata metodologia di studio (Cornell, 1968) che conduce alla definizione di determinati parametri indice della scuotibilità del territorio esaminato.

I risultati di questa analisi si riferiscono al cosiddetto bedrock sismico, ovvero una roccia di elevata consistenza in aree caratterizzate da morfologia piatta, e non tengono conto dell'assetto geologico, geologico-tecnico e geomorfologico del territorio.

Nel corso degli anni è stato dimostrato che i parametri magnitudo e accelerazione di picco, propri di un terremoto, non sono direttamente correlabili al grado di danneggiamento (intensità) prodotto da esso.

Infatti, l'intensità per un determinato terremoto può variare molto da luogo a luogo, a seconda della distanza e profondità epicentrale, della tipologia degli edifici e quindi della vulnerabilità, della densità abitativa e quindi dell'esposizione.

In occasione dei più violenti e recenti terremoti avvenuti in Italia, in seguito ai sopralluoghi e agli studi finalizzati a stabilire con una certa esattezza il grado di intensità che ogni località aveva subito, si è potuta constatare l'esistenza di grandi anomalie ed irregolarità nella distribuzione spaziale dell'intensità, a parità di tipologia e quindi di vulnerabilità degli edifici esaminati.

Tali variazioni spaziali, dell'ordine anche di qualche grado su distanze di poche centinaia di metri, sono, in molti casi, da correlare a condizioni locali sfavorevoli.

In occasione di eventi sismici, le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona possono produrre effetti diversi, che devono essere presi in considerazione nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti (spesso definiti effetti locali) sono generalmente di amplificazione e scaturiscono dall'interazione delle onde sismiche con particolari condizioni locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie rispetto allo scuotimento che si avrebbe sulla roccia sottostante (bedrock).

Le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali (topografia) e sepolte e da particolari caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni, che possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno e fenomeni di risonanza fra modi di vibrazione del terreno e delle strutture eventualmente presenti.

Nel caso di materiali omogenei ed isotropi (tali possono essere considerate in prima approssimazione le rocce presenti in profondità), le modificazioni nella forma ed ampiezza del segnale sismico dipendono soltanto dalle caratteristiche della sorgente sismica (energia liberata, meccanismo di rottura, ecc.) e dalla distanza di propagazione tra sorgente e sito (attenuazione anelastica).

Nel caso di terreni eterogenei, in condizioni geologiche e geologico-tecniche molto variabili (caso dei materiali presenti in prossimità della superficie) le modificazioni del moto sismico sono dovute a fenomeni di riflessioni multiple, rifrazioni e trasformazione delle onde di volume in onde superficiali.

La presenza di questi effetti dimostra che una corretta progettazione strutturale antisismica da sola non è sufficiente a garantire condizioni di sicurezza adeguate e che strutture e infrastrutture, dimensionate per resistere ad azioni sismiche anche molto violente, possono perdere la loro efficienza per problemi dipendenti dalla risposta del terreno di fondazione.

Al fine di valutare la risposta sismica locale di un determinato sito, bisogna definire preliminarmente il *moto di riferimento* che rappresenta il moto atteso in superficie in assenza di effetti locali.

In generale i periodi fondamentali e la durata di un moto sismico aumentano all'aumentare del contenuto energetico e della distanza epicentrale, mentre l'ampiezza massima diminuisce allontanandosi dalla sorgente per effetto dell'attenuazione geometrica (espansione del fronte d'onda) e di quella anelastica (energia dispersa per smorzamento interno del mezzo di propagazione).

Il moto di input da utilizzarsi nelle analisi numeriche può essere espresso sia come un'accelerogramma, sia come uno spettro di risposta elastico, e può essere determinato attraverso analisi di pericolosità condotte secondo approcci diversi.

Il metodo probabilistico-statistico, che permette di determinare il moto atteso (espresso con uno dei parametri di strong motion, quali PGA, PGV, spettro di risposta ecc.), assegnandovi una probabilità di eccedenza o non eccedenza (pari al lasso di tempo necessario affinché il parametro adottato possa essere ecceduto o non ecceduto con una certa percentuale) si presta meglio a scopi applicativi quali la caratterizzazione della sismicità a livello nazionale o regionale.

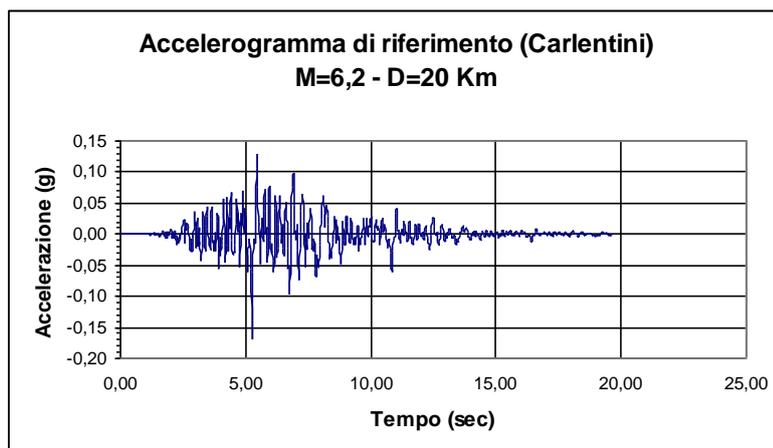
Generalmente, per studi di Microzonazione, il risultato dell'analisi di pericolosità è espresso in termini di spettro di risposta in pseudoaccelerazione al 5% dello smorzamento critico corrispondente all'evento sismico atteso assegnato un determinato periodo di ritorno (ai fini della classificazione sismica il valore convenzionalmente adottato in molte normative internazionali, tra cui anche nell'Eurocodice 8, ENV 1998-1-1, 1994, è una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni).

Il moto di input utilizzato nella modellazione numerica è rappresentato pertanto da un'accelerogramma che fornisce l'andamento dell'accelerazione impressa al suolo nel tempo; l'esperienza ha dimostrato che per studi finalizzati all'analisi della stabilità delle strutture è di fondamentale importanza la componente orizzontale anziché quella verticale del sisma, perché è proprio questa che può fornire i maggiori danneggiamenti, sottoponendo le strutture a deformazioni di taglio.

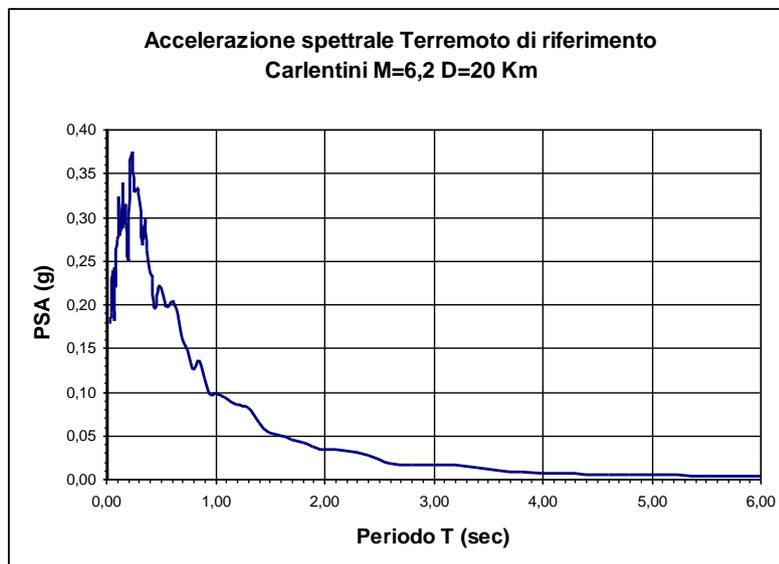
Per questo motivo, nelle modellazioni si impone come input la componente orizzontale del sisma e si considera come proprietà fondamentale del terreno la V_s , che definisce la velocità di propagazione delle onde di taglio generate dal sisma.

Per definire il terremoto di riferimento, nella fattispecie in esame, si è utilizzata la tecnica della “disaggregazione” (Bommer J., Scott, S. & Sarma S. (2000) - *Hazard-consistent earthquake scenarios. Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 219-231) che consente di individuare la coppia Magnitudo-distanza (riferita a una sorgente), congruente con i valori di pericolosità di base (PGA e PSA) calcolati per il sito in esame.

Il programma di calcolo “SimnostMod” permette, con una procedura molto semplice, di ricavare, dati una Magnitudo e una distanza (riferite a una sorgente), uno spettro di risposta e un accelerogramma, congruenti con quella M e quella d. (Sabetta F. & Pugliese S. (1996) - *Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions. BSSA*, 86, 2, 337-352).



$$A_g \max = 0,17a \ 5,26 \ sec$$



PSA (g) max = 0,38 per T = 0,24 sec.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, la recente normativa, classifica i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_s , ovvero sul numero medio di colpi N_{SPT} ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media C_u .

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie del suolo di fondazione:

- A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.*
- B - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata media $C_u > 250$ KPa).*

- C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < Cu < 250$ KPa).*
- D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $Cu < 70$ KPa).*
- E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.*

A queste si aggiungono altre due classi (S1-S2) per le quali andranno svolti studi speciali per la definizione dell'azione sismica.

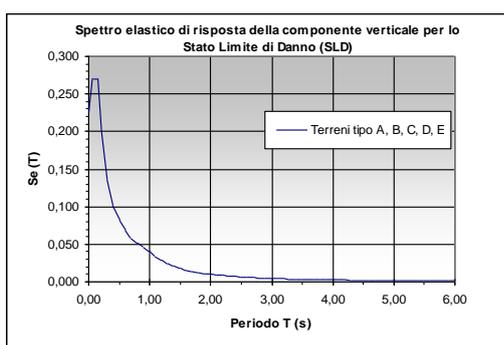
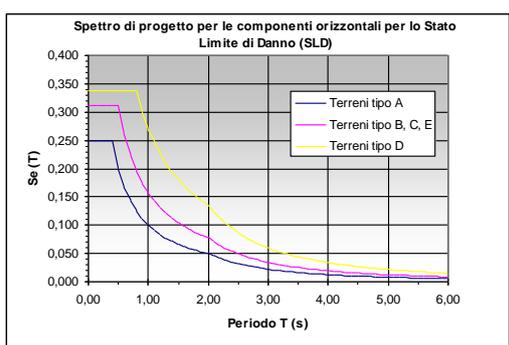
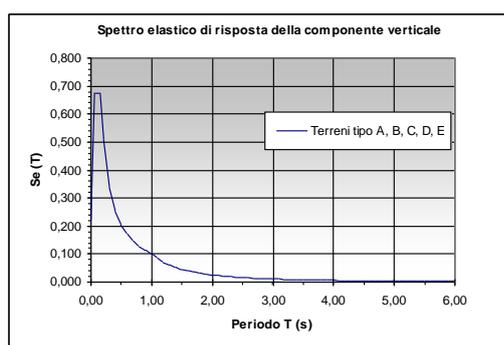
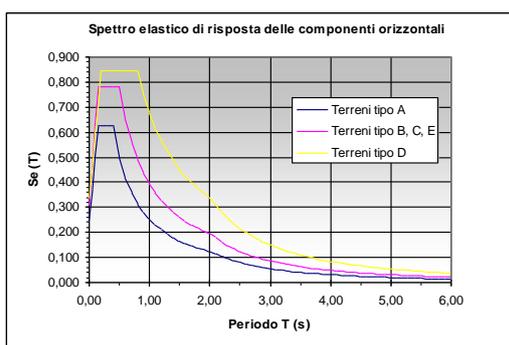
Inoltre, il territorio nazionale è suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

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 seguente Tabella:

Zona	Valore di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Un modello di riferimento per la descrizione del moto sismico sul piano di fondazione è costituito dallo spettro di risposta elastico, costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del

5% e considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima convenzionale del terreno fondale a_g che caratterizza il sito.



I valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro derivano dalle indagini di risposta sismica locale.

Oltre allo Spettro di progetto per lo stato limite di danno (SLD), la norma consente la determinazione dello Spettro di progetto per lo stato limite ultimo (SLU), laddove le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso un fattore riduttivo, denominato fattore di struttura q , che tiene conto della capacità dissipativa anelastica della struttura.

I valori numerici del fattore q competono al progettista, e vanno definiti in funzione dei materiali, delle tipologie strutturali, del loro grado di iperstaticità, della duttilità attesa e della interazione terreno-struttura.

Per gli studi di risposta sismica locale finalizzati alla previsione delle azioni sismiche di progetto sui manufatti è necessario caratterizzare il comportamento meccanico del terreno mediante la determinazione dei parametri V_s (velocità delle onde di taglio) G_0 (modulo di taglio a piccole deformazioni), R (rigidità sismica), E_d (modulo di elasticità dinamico) e A (amplificazione sismica).

Dall'indagine sismica in foro (sondaggio down-hole S1) è stato possibile derivare i seguenti parametri:

- Velocità delle onde di taglio (V_s);
- Modulo di taglio a piccole deformazioni, $G_0 = \frac{\gamma_t}{g} * (V_s)^2$ (Ohta e Goto,

1978) dove:

γ_t = peso di volume naturale;

g = accelerazione di gravità (980 cm/s²);

- **Modulo di elasticità dinamico** $E_d = V_p^2 * \rho * \frac{(1+\nu) * (1-2\nu)}{1-\nu}$ dove:

V_p è la velocità delle onde longitudinali;

ρ è la densità del terreno;

ν è il modulo di Poisson.

- **Rigidità sismica** $R = \gamma_t * V_s$ definito come il prodotto della velocità per il peso su unità di volume del mezzo in cui l'onda si propaga, è un parametro strettamente legato all'amplificazione sismica locale infatti l'incidenza dei danni tende a diminuire all'aumentare della rigidità sismica.

- **Frequenza e Periodo fondamentale** $f = \frac{V_s}{4 * H}$; $T = \frac{4 * H}{V_s} = \frac{1}{f}$

dove:

H è pari allo spessore complessivo degli strati $\sum_{i=1}^n h_i$

V_s è la velocità media pesata delle onde di taglio
$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n V_{si} * h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

Questi due parametri pur nella loro semplicità, assumono un importante significato dal punto di vista applicativo.

Assimilando il sottosuolo ad uno strato omogeneo equivalente, essi forniscono una prima indicazione dei campi di frequenza in cui attendersi fenomeni di amplificazione locale, facendo una tale assunzione ed altresì considerando il substrato argilloso, rinvenuto a circa 28 mt, come bed-rock, ne discende:

$$V_s = 384.84 \text{ m/sec}$$

$$H = 28 \text{ m (come sommatoria dei singoli strati)}$$

da cui

$$f = 3.516 \text{ hz}$$

$$T = 0.284 \text{ sec.}$$

Tali valori scaturiscono prendendo in esame la seguente tabella, dove vengono riportati, oltre agli spessori, le velocità V_s afferenti ad ognuno di essi:

Litologie	Parametri medi	Unità geolitologica
A : h1 = 3 m	$V_s = 167 \text{ m/s}$	Limo-argilloso deb. sabbioso
B : h2 = 3 m	$V_s = 284 \text{ m/s}$	Sabbie fini giallastre mediamente addensate
C : h3 = 16.5 m	$V_s = 416 \text{ m/s}$	Sabbie fini grigio scure ben addensate
D : h4 = 5.5 m	$V_s = 511 \text{ m/sc}$	Ciottoli eterogenei, fino a decimetrici nelle porzioni basali, in matrice limo-sabbiosa-argillosa
E	$V_s = 530 \text{ m/s}$	Argilla grigio-azzurra

Amplificazione sismica

La funzione di amplificazione è una grandezza molto significativa, essa indica quali componenti del moto sismico sono state amplificate nel passaggio attraverso il terreno, quali sono state smorzate ed in quale rapporto.

Nel caso in esame è stato utilizzato il modello che fa riferimento ad uno strato di terreno omogeneo visco-elastico poggiante su un substrato deformabile.

In questa modellizzazione si è osservato che la causa principale dei fenomeni di amplificazione è rappresentata dal parziale “intrappolamento” di onde di volume (onde S) all’interno della copertura.

Non potendo considerare la roccia di base come un mezzo perfettamente rigido e il terreno sovrastante come uno strato omogeneo e elastico, una funzione di amplificazione corretta deve tener conto della perdita di energia per radiazione e per smorzamento interno del terreno.

I valori di picco della funzione di amplificazione in corrispondenza delle frequenze naturali della copertura dipendono esclusivamente dal rapporto di impedenza e dal fattore di smorzamento.

Per definire i rapporti di impedenza sismica $I = \frac{R_{substrato}}{R_{copertura}}$, tra substrato

sismico e copertura sono stati utilizzati i valori delle velocità delle onde s delle 5 classi litotecniche ottenute dall’indagine sismica in foro.

Risposta sismica locale di un sottosuolo reale

E’ noto che le caratteristiche del moto sismico in corrispondenza di un substrato roccioso sono differenti da quelle in corrispondenza dell’interfaccia substrato-copertura, proprio a causa della presenza della copertura.

Una valutazione più adeguata e completa dell'effetto di modifica del moto sismico esercitato dal terreno è rappresentata dalla cosiddetta "funzione di amplificazione".

La funzione di amplificazione fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" del terreno sulle onde sismiche, ma la sua conoscenza non è sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie del terreno.

E' possibile caratterizzare la risposta sismica locale (RSL) di un sito disponendo di uno spettro di risposta di accelerazione, che è il tipo di rappresentazione più utile per le applicazioni di ingegneria, associato ad un dato terremoto e ad un dato fattore di smorzamento superficiale che includa l'effetto di amplificazione del terreno.

È stata effettuata una valutazione della RSL per via analitica lungo la verticale riconducibile alla stratigrafia individuata nel sondaggio sismico denominato S1.

È stato utilizzato un modello di rappresentazione del sottosuolo a strati continui

Nel modello "a strati continui" il terreno è schematizzabile come un mezzo continuo multistrato, in cui ogni strato è assunto omogeneo ed a comportamento visco-elastico lineare.

Il software utilizzato è stato EERA che adotta l'analisi lineare equivalente.

Per l'esecuzione delle analisi è stato utilizzato l'accelerogramma su roccia testè evidenziato considerando come massimo terremoto potenziale un evento con Magnitudo $M = 6,2$ e distanza epicentrale $R = 20$ km.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dal codice numerico EERA sia in forma grafica, sia in forma numerica per il sondaggio sismico down-hole S1.

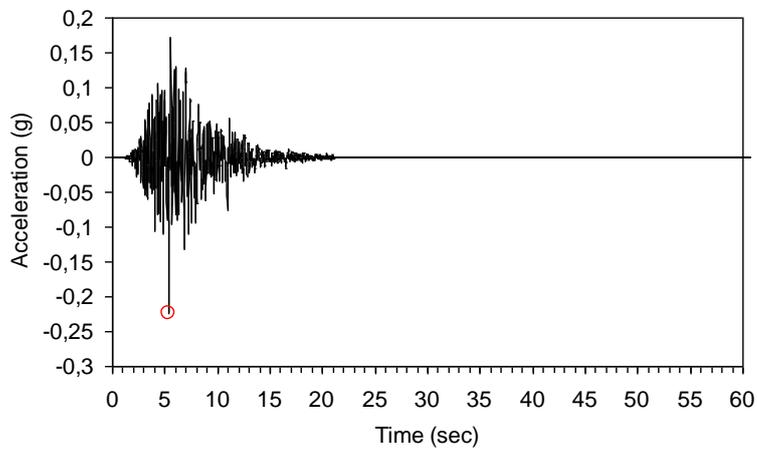


Fig. 1 accelerazione del suolo direzione orizzontale

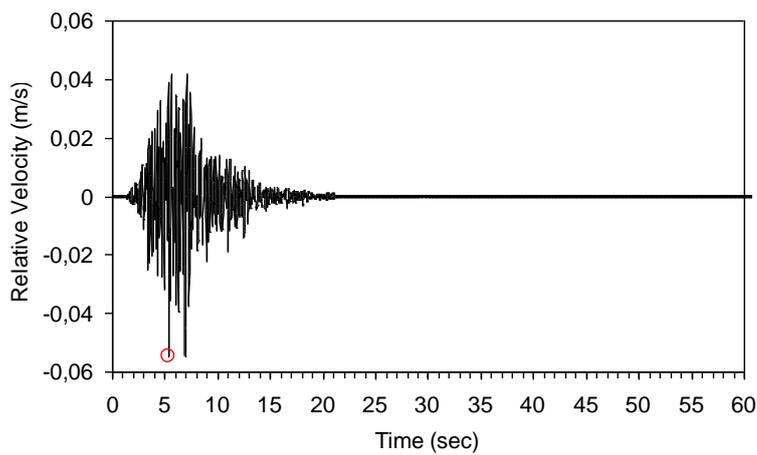


Fig. 2 velocità del suolo direzione orizzontale

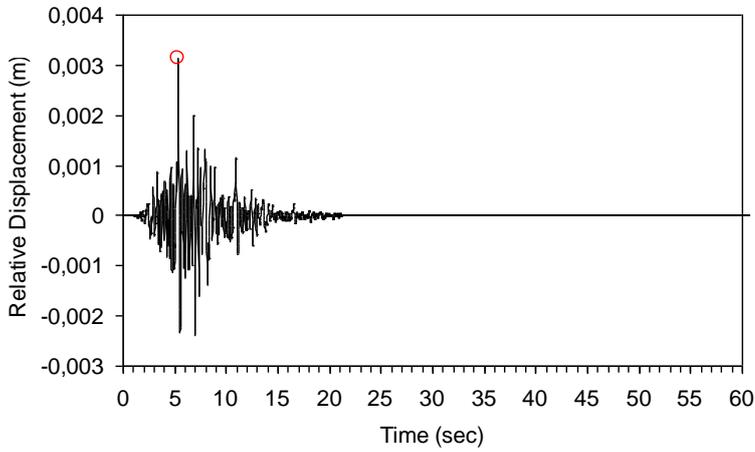


Fig. 3 spostamento del suolo direzione orizzontale

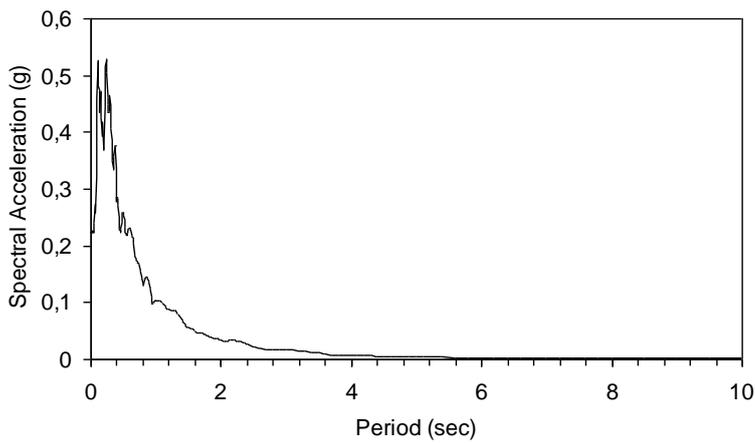


Fig. 4 spettro di risposta elastico accelerazione (smorzamento 5%)

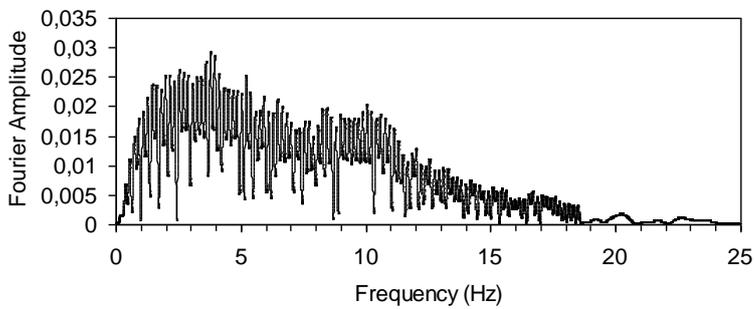


Fig. 5 spettro di Fourier in superficie

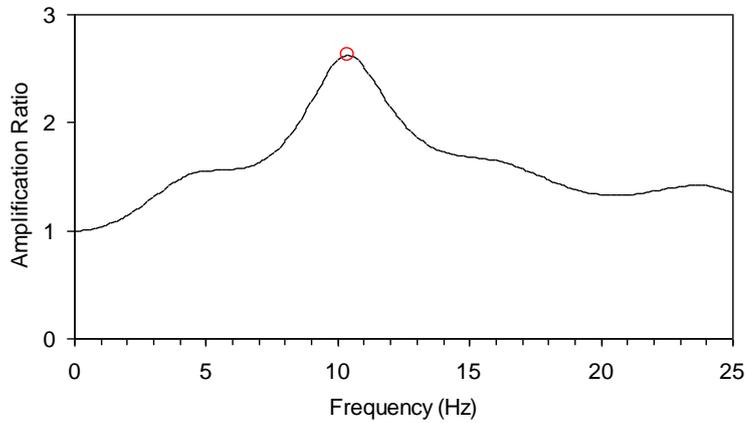


Fig. 6 andamento dell'amplificazione sismica in funzione della frequenza

Parametri caratteristici del moto del suolo relativi al sondaggio sismico S1

PGA (g) 0.224

PGV (m/s) 0.055

PGD (m) 0.0031

Periodo Max. acc. Spettrale (s) 0.23

Frequenza Max. acc. Spettrale (Hz) 4.35

Frequenza Max. amplificazione (Hz) 10.4

Fa Max. 2.625

Dove:

PGA massima accelerazione del suolo

PGV massima velocità del suolo

PGD massimo spostamento del suolo

s secondi

m metri

g accelerazione di gravità (9.81 m/s²)

Il comune di Carlentini ricade nella **zona sismica 2** a cui corrisponde una accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di 0,25 g che si traduce in una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,35 (ag/g).

Sulla base dei risultati dell'indagine sismica in foro eseguita, il sito indagato appartiene alla **categoria B** di suolo di fondazione, così definita: *depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica Nspt >50, o coesione non drenata cu >250 kPa).*

Considerando l'intervallo 0.1-0.5 secondi (2-10 Hz), assunto come rappresentativo del periodo proprio di oscillazione della maggior parte degli edifici, i valori di amplificazione (Fa) calcolati lungo la verticale relativa al sondaggio sismico S1 sono compresi tra 1.14 e 2.59 come illustrato nella figura 6.

Per valutare correttamente i possibili fenomeni di amplificazione e quindi gli effetti dello scuotimento sismico sugli edifici esposti al rischio, è necessario comprendere l'importanza della frequenza naturale del terreno.

Pertanto, bisogna porre estrema attenzione ai fenomeni di "risonanza" dovuti alla coincidenza tra frequenze dominanti del segnale sismico in ingresso e quelle naturali del sottosuolo, ed alla conseguente possibile "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati.

Nel nostro caso si escludono fenomeni di risonanza e doppia risonanza per la non coincidenza delle frequenze dominanti del segnale sismico (intorno ai 10-11 Hz) e le frequenze naturali del sottosuolo (13.91 Hz).

7. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Escludendo dall'esame i metodi analitici e numerici più complessi (per es. i metodi agli elementi finiti) che risultano eccessivamente onerosi per i casi pratici più comuni, i metodi di calcolo più utilizzati per valutare la suscettibilità alla liquefazione sono quelli empirici e semplificati.

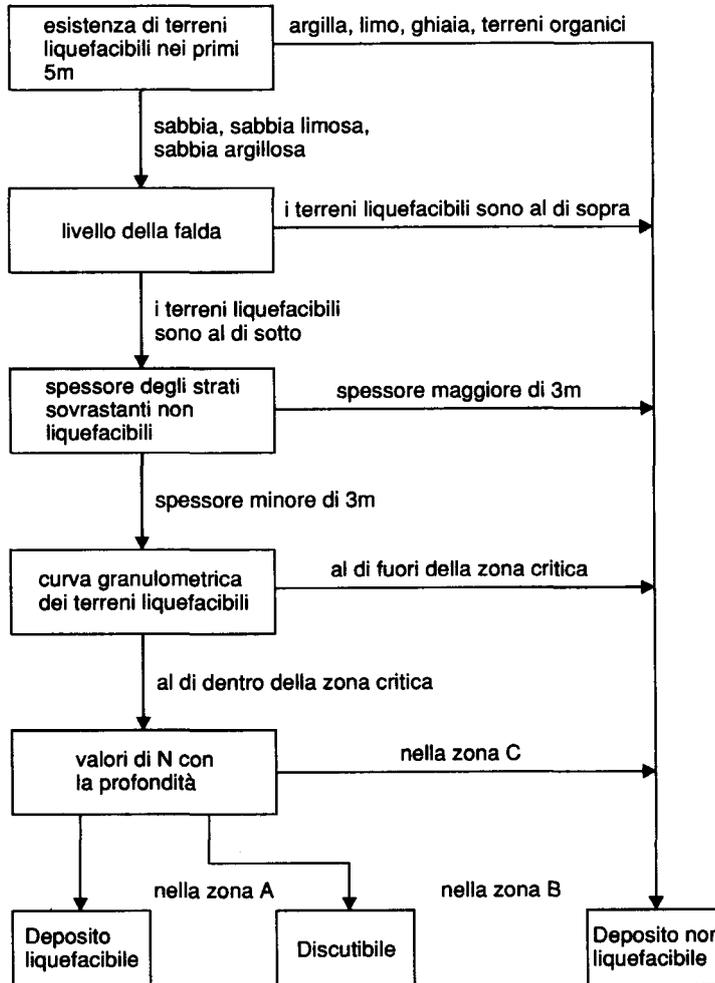
I metodi empirici vengono utilizzati generalmente per fornire una valutazione di massima della vulnerabilità di un deposito sabbioso saturo alla liquefazione, prendendo in considerazione solo i parametri geologici-geotecnici del sito.

Fra questi quello più comunemente usato è la procedura proposta da Sherif & Ishibashi (1978).

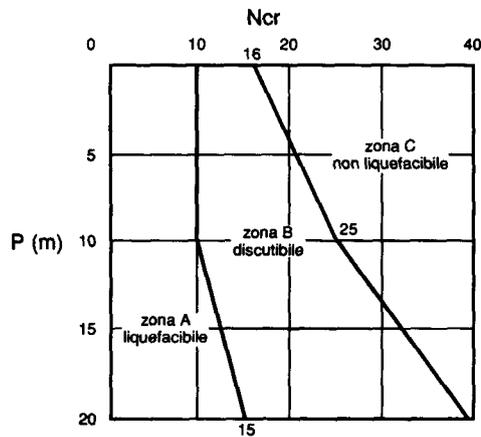
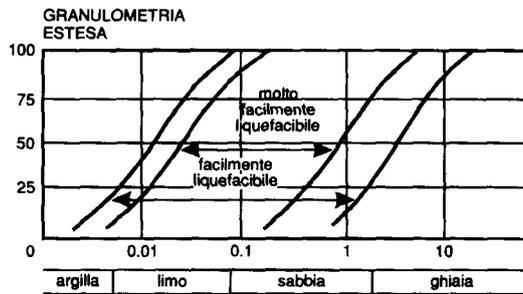
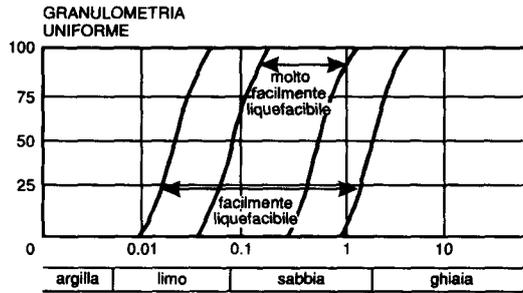
Verificato che la granulometria del deposito sia predisponente al manifestarsi di fenomeni di liquefazione, per poter emettere un giudizio definitivo sulla vulnerabilità del deposito, occorre prendere in considerazione il suo grado di addensamento, valutato attraverso prove SPT.

Se il numero di colpi ricade nella fascia A, il deposito è liquefacibile; se ricade nella fascia C, non è liquefacibile.

La fascia B, infine, riguarda strati in cui la liquefazione è possibile, ma non probabile (vedasi schemi e tabelle seguenti).



- Procedura semplificata per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un deposito (Sherif e Ishibashi, 1978).



- Procedura semplificata per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione di un deposito:
fig. A - fasce granulometriche critiche
fig. B - profili critici del numero di colpi della prova SPT (P=profondità).

Sulla base delle caratteristiche granulometriche del pacco alluvionale (in prevalenza rappresentati da Limi sabbiosi/Sabbie limose, classe A4÷A2, UNI - CNR 10006), sul grado d'addensamento evidenziato dall'indagine penetrometrica con NSPT da un minimo di 26, registrato a -5,5 m dal p.c., gli orizzonti investigati, afferenti il materasso alluvionale presente in substrato risultano essere ricadenti tutti nell'ambito della zona C (non liquefacibile) del diagramma testè riportato.

E' stata effettuata una ulteriore verifica della suscettibilità alla liquefazione utilizzando la procedura semplificata più comunemente usata di Seed & Idriss, laddove, al contrario della maggior parte dei metodi empirici, la metodologia richiede che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (R) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (T). Cioè in pratica si avrà:

$$F_s = R/T$$

La grandezza T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). R è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche, statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da stendimenti di sismica a rifrazione.

Nel metodo di Seed & Idriss (1982) la resistenza alla liquefazione può essere stimata con la seguente formula:

$$R = N_a / 90$$

con:

$$N_a = (N_{spt} + (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7))) + N_f$$

Dove σ_{vo} (kg/cm^q) = pressione verticale efficace;

$N_f = 0$ se d_{50} (mm) $>0,25$; 7,5 se d_{50} (mm) $\leq 0,25$.

Viene considerato non liquefacibile un deposito in cui sia $F_s > 1,3$.

Nel caso in specie:

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE				
(da prove dinamiche SPT)				
Metodo semplificato				
Metodo di Seed e Idris (1982)				
PARAMETRI:				
γ	=	1,86	g/cm ³	
σ_{vo}	=	1,02	kg/cm ²	
σ'_{vo}	=	0,82	kg/cm ²	
profondità dello strato	=	550	cm	
N_{SPT}	=	26		
profondità falda	=	350	cm	
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³	
Pressione neutra	=	0,200	kg/cm ²	
z	=	5,5	m	
				R= Resistenza al taglio mobilizzata
				T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
				d_{50} = Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%
FORMULE:			RISULTATI:	
Na	=	$(N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7)) + N_f)$	=	29,02166776
Na	=		=	Na
N_f	=	0		
R	=	$Na/90$	=	0,322462975
R	=		=	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d$	=	0,185325524
T	=		=	T
a_{max}/g	=	0,25		
r_d	=	0,9175		
1,3	≤	F_s=R/T Sabbie sature	=	1,739981456
			=	Verificato F _s

Pertanto il deposito per le sue caratteristiche di addensamento viene considerato non liquefacibile.

8. INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA

In caso di propagazione di energia elastica generata da un movimento tellurico, le modalità di interazione suolo-struttura dipendono, oltre che da alcune caratteristiche proprie della struttura (periodo di oscillazione, collocazione del baricentro, rigidità, rapporto tra le dimensioni, ecc.), anche da alcune caratteristiche del terreno di fondazione.

L'energia elastica che si diparte da una sorgente sismica viene modificata nell'attraversare il mezzo di propagazione; ne segue che il mezzo roccioso, secondo le proprie caratteristiche fisiche, smorza le oscillazioni corrispondenti a determinate frequenze ed al contempo ne amplifica delle altre, per effetto *filtro*.

Un altro elemento che interviene a smorzare od amplificare il moto del suolo in caso di sisma è la geometria dei corpi rocciosi del sottosuolo.

In definitiva, le frequenze caratteristiche di un dato sisma che dipendono esclusivamente dai meccanismi focali, ancor prima che esse investano un corpo posto in superficie, subiscono un effetto filtro durante l'attraversamento del mezzo roccioso.

La valutazione dell'effetto filtro assume particolare importanza se riferito agli strati superficiali che vengono a diretto contatto con le opere di fondazione e/o sono interessati dalla trasmissione dei carichi esercitati dalle strutture stesse.

La valutazione delle caratteristiche litologiche e fisico-meccaniche dei terreni di sedime assume quindi un fondamentale rilievo nelle analisi delle possibili sollecitazioni indotte nella struttura.

Terreni caratterizzati da coesione bassa o nulla tendono a selezionare le frequenze di oscillazione del suolo verso i valori più bassi dello spettro, che, essendo prossimi ai periodi propri di oscillazione delle strutture, possono produrre quei temuti effetti di risonanza che sono spesso causa del collasso delle strutture stesse.

E' peraltro da considerare che gli stessi terreni a bassa coesione presentano il vantaggio di assorbire parzialmente le oscillazioni di taglio, che risulteranno quindi più contenute al piede dell'opera.

I terreni lapidei non presentano effetti selettivi nei confronti dello spettro di frequenza delle sollecitazioni elastiche, non favorendo, quindi l'esaltazione delle basse frequenze, ma, per contro, consentono una più efficiente propagazione delle onde di taglio, che saranno pertanto trasmesse integralmente alla struttura.

Al fine di poter meglio quantificare l'entità delle sollecitazioni trasmesse nelle condizioni di sisma, è opportuno ricordare quali siano i parametri che concorrono alla scelta del "coefficiente sismico di progetto" (**Ks**), coefficiente comprensivo di tutti quei parametri concorrenti ad una completa e corretta identificazione dell'interazione che si stabilisce tra suolo e struttura sotto l'effetto di un sisma, esso è così definito :

$$\mathbf{Ks} = \mathbf{Cs} \times \mathbf{R} \times \boldsymbol{\varepsilon}$$

Cs = Coefficiente di intensità sismica dipendente dalla sismicità dell'area: nel nostro caso trattandosi di II cat., con $S = 9$ (D.M. 23/09/1981), si assume $Cs = 0.07$; un calcolo basato sui valori di rigidità proposto nell'allegato fascicolo di indagini geofisiche fornisce un incremento pari a $Fc=1.1$, per cui $Cs = 0.07 \cdot 1.1 = 0.077$. Evidentemente, se si considera l'area in esame cautelativamente di I cat., ovvero con $S = 12$, Cs assume il valore di 0.10;

R = Coefficiente di risposta della struttura che assume i seguenti valori:

$$\text{per } T > 0.8 \text{ sec.} \Rightarrow R = (0.862/T)^{2/3} \quad \text{per } T < 0.8 \text{ sec.} \Rightarrow R = 1.0$$

con T = periodo di oscillazione della struttura;

ε = Coefficiente di fondazione calcolato come segue:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{Cf}_1 * \boldsymbol{\alpha}_1 * \boldsymbol{\alpha}_2$$

Cf₁ = 1.0 ÷ 1.3; dipende dalla natura del substrato: in corrispondenza delle sia pur modeste strutture, che insistono sui depositi alluvionali, con spessore > 5 m, il valore da adottare è $\varepsilon = 1.3$; laddove tali

strutture insistono o su depositi alluvionali con spessore < 5 m, o direttamente sul substrato argilloso, il valore da prendere in considerazione è $\epsilon_{\square} = 1.0$. (D.M 09.01.1996, p. C.6.1.1) .

$\alpha_1 = 1.0$; legato alle condizioni di acclività dell'area, valutato secondo la seguente tabella:

Pendenza	$\leq 20\%$	20% - 35%	35% - 50%	$\geq 50\%$
α_1	1.0	1.1	1.2	1.3

$\alpha_2 = 1.2$; coefficiente di distribuzione delle azioni sismiche funzione della capacità del terreno ad assorbire le onde di taglio; la definizione di tale coefficiente, basato sulla velocità di propagazione delle onde di taglio è valutata secondo la seguente tabella.

	M/sec	m/sec	m/sec
V_s	< 400	400 - 700	>700
α_2	1.2	1.0	0.8

Nel caso in esame, è stato considerato che la velocità delle onde S (V_s), per l'orizzonte alluvionale ed anche per le argille più superficiali, si mantiene mediamente su valori < 400 m/s, per cui $\alpha_2 = 1.2$.

Ne segue che il coefficiente di fondazione, funzione delle scelte progettuali, sarà:

$$\epsilon = 1.30 \times 1.00 \times 1.20 = 1.56$$

I valori $\epsilon_{\square} = 1.56$ risultano ancora più cautelativi dei valori imposti dalla normativa vigente, pari a $\epsilon_{\square} = 1.3$, nondimeno si ritiene sufficiente adottare il valore imposto dalla normativa per depositi alluvionali di spessore compreso tra 5 e 20 mt ovvero $\epsilon_{\square} = 1.3$ (D.M. 09.01.1996, p.C.6.1.1.).

9. INDAGINI “IN SITU” ESEGUITE

Come riportato in premessa viene integralmente qui di seguito richiamato quanto a suo tempo acquisito per lo studio geologico relativo a “Complesso Integrato Tenuta Grande”.

Come altre volte richiamato, la locale successione litostratigrafica è stata ricostruita in una prima fase in base di quanto emerso dai rilievi di superficie, successivamente in modo più puntuale e dettagliato attraverso una campagna di indagini geognostiche dirette così articolata:

- ✚ *Esecuzione di n. 3 sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo, di cui uno spinto fino a 31 metri ed attrezzato per l'esecuzione di una prova sismica Down Hole, durante il corso dei sondaggi sono stati prelevati di n°2 campioni indisturbati ed esecuzione di n°6 prove in foro di tipo S.P.T.;*
- ✚ *Esecuzione di n.5 pozzetti esplorativi realizzati con escavatore meccanico tipo Caterpillar;*
- ✚ *Esecuzione di n° 1 prova sismica in foro (Down Hole) nel sondaggio denominato S1, eseguita per conto dello scrivente, dalla Ditta “GEOWAVES” del Dott. Geol. Francesco Failla;*
- ✚ *Analisi e prove geotecniche di laboratorio su n° 2 campioni di cui uno indisturbato ed un altro a disturbo limitato, prelevati rispettivamente da mt 2.00 a mt 2.50 in S1 nell'ambito dei "limi- argillosi" e l'altro in S2 da mt 4.00 a mt 4.30 in seno alle sabbie-limose, eseguite, su incarico dello scrivente, dal laboratorio “M.T.R.” del dott. Geol Filippo Furia.*

✚ Esecuzione di n°5 prove Penetrometriche dinamiche realizzate con strumentazione DPM 030 Pagani Geotechnical, distribuite compatibilmente alla possibilità di accesso in modo da coprire omogeneamente l'area investigata per poter acquisire un quadro dei parametri attendibili per tutta la superficie investigata.

9.1 Sondaggi Meccanici

Si forniscono schematicamente di seguito le risultanze dei sondaggi meccanici e delle prove eseguite ovvero delle indagini geofisiche, dei pozzetti geognostici nonché delle prove penetrometriche.

In allegato figurano altresì le stratigrafie dei pozzetti esplorativi e dei sondaggi meccanici, mentre i fascicoli relativi alle indagini geofisiche e le prove penetrometriche costituiscono degli allegati fuori testo, costituenti parte integrante ed essenziale del presente lavoro.

L'esatta ubicazione planimetrica delle indagini é riportata nell'allegata Planimetria dell'area d'intervento, scala 1:5.000.

I sondaggi meccanici realizzati a rotazione ed a carotaggio continuo sono stati spinti alle profondità, ritenute utili e sufficienti ad interpretare la locale sequenza litostratigrafia, fino alla individuazione del substrato profondo ed altresì idoneo a consentire di eseguire la prova Down Hole per la definizione del cosiddetto Vs 30, pertanto con tali finalità sono stati eseguiti i seguenti sondaggi:

S1 fino a -31.0 m dal p.c.

S2 fino a -7.0 m dal p.c.

S3 fino a -9.0 m dal p.c.

I litotipi investigati, con le relative profondità, vengono di seguito riportati:

LITOTIPO	S1 (m)	S2 (m)	S3 (m)
Terreno agrario	0.0-0.70	0.0-1.0	0.0-0.70
Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone	0.70-3.60	1.0-3.20	0.70-4.10
Argilla limosa grigia, plastica e compressibile	//	//	4.10-5.10
Sabbie fini giallastre limose mediamente addensate	3.60 – 6.10	3.20 – 4.40	//
Sabbie fini limose grigio scure ben addensate	6.10-22.50	4.40 – 7.00	5.10-9.00
Sabbia fine grigia con ciottoli centimetraci prevalentemente lavici	22.50 - 26.50	//	//
Ciottoli fino a decimetrici nelle porzioni basali, eterogenei in matrice argillosa –sabbiosa	26.50- 28.40	//	//
Argilla grigio-giallastra, mediamente plastica	28.40 - 29.80	//	//
Argilla grigio-azzurra con bande giallastre compatta	29.80 - 31.00	//	//
Falda (m dal p.c.)	-3.60	-3.20	-5.10

Nel corso dei sondaggi sono state effettuate n° 6 prove in foro del tipo S.P.T..

9.1.1 Prove SPT in foro

L'esigenza di utilizzare tali prove nasce dalla difficoltà di prelevare campioni rappresentativi da sottoporre a prove di laboratorio per determinati tipi litologici, come nella fattispecie in esame trattandosi di sabbie difficili da campionare, per cui tali indagini forniscono in via indiretta una serie di parametri geotecnici la cui attendibilità è avvalorata dalla esperienza maturata per analoghi litotipi, investigati attraverso altre metodologie, ancor più stante il carattere comunque solamente indicativo dei risultati acquisiti stante che dovranno essere approfonditi nella fase esecutiva.

I valori ottenuti sono stati:

	Profondità (m)	N° colpi (ogni 15 cm)
S1	3.0	1 - 3 - 3
	5.5	7 - 11 - 15
	10.50	13 - 16 - 19
S2	1.3	1 - 3 - 4
	3.5	1 - 9 - 9

S3	<i>1.50</i>	<i>3 - 3 - 3</i>
-----------	-------------	------------------

9.2 Indagine Geofisica in foro (Down Hole)

L'indagine geofisica, ha invece consentito di definire le caratteristiche elastiche dei terreni investigati con il sondaggio S1 (che ha intercettato la sequenza alluvionale nella forma più completa) per singoli strati, con intervalli di 1.0 m.

Nella seguente tabella si riportano i valori calcolati dei principali parametri elastici relativi ad ogni singolo litotipo, accorpendo dunque gli intervalli di misura:

Spessore	Vp	Vs	Densità γ	Coeff. Poisson ν	Modulo di Taglio G	Mod. di incompress. K	Modulo di Young E	Rigidità Vs* D
Metri	m/sec	m/sec	g/cm ³		kg/cm ² * 10 ⁴	kg/cm ² * 10 ⁴	kg/cm ² * 10 ⁴	kg/sec * m ²
3,00	290,06	167,00	1,80	0,25	0,050	0,08	0,13	0,30
3,00	453,17	284,00	2,00	0,18	0,161	0,20	0,38	0,57
16,50	698,16	416,00	2,00	0,22	0,346	0,51	0,85	0,83
5,50	851,22	511,00	1,95	0,22	0,509	0,73	1,24	1,00
2,00	894,47	530,00	1,95	0,23	0,548	0,83	1,35	1,03

dove:

- Vp**= Velocità onde *primae*;
- Vs**= Velocità onde *secundae*;
- γ = Densità in situ;
- ν = Coefficiente di Poisson;
- G**= Modulo di rigidità;
- K** = Modulo di incompressibilità;
- E** = Modulo di Young;
- μ = Rigidità.

Per i dettagli relativi alla metodologia di indagine, nonché per lo sviluppo completo delle risultanze si rimanda all'allegato fascicolo, prodotto dalla ditta esecutrice, costituente parte integrante ed essenziale del presente lavoro.

9.3 Pozzetti geognostici esplorativi

Sono stati effettuati n.6 pozzetti esplorativi, eseguiti con l'ausilio di un escavatore meccanico, di adeguata potenza, ed indicati negli elaborati grafici con la sigla Pz, all'interno del perimetro dell'area da realizzare.

In particolare, con i citati pozzetti è stato possibile indagare l'area di progetto al fine di individuare anche visivamente a grande scala sia i terreni presenti sulla verticale d'indagine costituenti potenzialmente il substrato di fondazione ovvero la quota minima di fondo scavo, dunque la porzione dei terreni da rimuovere, sia la posizione della falda superficiale, spinti mediamente fino a circa 4.0 mt dal p.c. e comunque fino al rinvenimento del substrato sabbioso sede della falda acquifera superficiale, con caratteristiche di sconfinamento.

L'esecuzione dei pozzetti ha permesso di individuare le seguenti stratigrafie:

Pozzetto n.1 (Pz1)

Falda: quota – 3.50 dal p.c.

Profondità (mt.)	Litologia
0.0 – 0.70	Terreno agrario

0.70 – 3.40	Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone
3.40 - 4.20	Sabbia limosa grigia

Pozzetto n.2 (Pz2)

Falda: quota – 3.60 dal p.c.

Profondità (mt.)	Litologia
0.0 – 0.70	Terreno agrario
0.70 – 3.10	Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone
3.10 – 3.60	Sabbia argillosa giallastra
3.60 - 4.10	Sabbia limosa grigia

Pozzetto n.3 (Pz3)

Falda: quota – 3.50 dal p.c.

Profondità (mt.)	Litologia
0.0 – 0.70	Terreno agrario
0.70 – 3.00	Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone
3.00 – 3.40	Sabbia argillosa giallastra
3.40 - 4.00	Sabbia limosa grigia

Pozzetto n.4 (Pz4)

Falda: quota – 3.30 dal p.c.

Profondità (mt.)	Litologia
0.0 – 0.80	Terreno agrario

0.80 – 2.90	Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone
2.90 – 3.30	Sabbia argillosa giallastra
3.30 – 3.90	Sabbia limosa grigia

Pozzetto n.5 (Pz5)

Falda: quota – 2.80 dal p.c.

Profondità (mt.)	Litologia
0.0 – 1.20	Terreno agrario
1.20 – 2.80	Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone
2.80 – 3.30	Sabbia limosa grigia

Pozzetto n.6(Pz5)

Falda: quota – 2.60 dal p.c.

Profondità (mt.)	Litologia
0.0 – 1.00	Terreno agrario
1.00 – 2.60	Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone
2.60 – 3.00	Sabbia limosa grigia

Dalla esecuzione dei pozzetti e dai sondaggi emerge, inequivocabilmente, che nel sito si ritrova un deposito di origine alluvio – fluviale, poggiante su un potente spessore di argille grigio azzurre.

9.4 Prove penetrometriche dinamiche

Sono state effettuate in questa fase n. 5 prove penetrometriche dinamiche, individuate con la sigla DP (con strumentazione penetrometrica dinamica DPM 030 Pagani Geotechnical), effettuate all'interno dell'area (vedi allegato esterno).

Inoltre le prove effettuate, considerato la tipologia di valutazione che permettono di eseguire, sono state correlate con i dati rilevati nel corso dei pozzetti esplorativi eseguiti e con i sondaggi meccanici che hanno permesso di individuare e confermare litologicamente il materiale attraversato dalle prove.

Le prove sono state realizzate, al fine di determinare le caratteristiche del deposito alluvionale presente all'interno dell'area di progetto.

Descrizione dello strumento

Lo strumento utilizzato per la realizzazione delle prove penetrometriche dinamiche è il DPM 030 della Pagani Geotechnical le cui caratteristiche tecniche sono in allegato; si tratta di un penetrometro dinamico con un peso della massa battente di 30 kg, mentre l'avanzamento delle aste viene misurato ogni 10 cm.

Lo strumento presenta un coefficiente di correlazione con la prova SPT di 0,766; mentre la resistenza alla punta viene determinata attraverso la formula degli olandesi.

Sono state realizzate n.5 prove penetrometriche, che unite ad una indagine superficiale dell'area evidenzia, al di sotto della coltre di terreno agrario la presenza di un terreno, coesivo nella parte più superficiale con caratteristiche limoso-argilloso e successivamente un terreno sabbioso-limoso, in concordanza con quanto rilevato nel corso dei pozzetti e dei sondaggi.

Le caratteristiche rilevate sono state determinate in condizioni non drenate come propongono le correlazioni tra il N_{spt} ed i terreni prevalentemente coesivi

(limi argillosi), mentre sono state indicate in condizione drenate per i terreni granulari (sabbie).

Inoltre, nell'area prima della realizzazione delle prove DP oggetto del presente lavoro sono realizzati pozzetti esplorativi che hanno permesso di individuare e confermare litologicamente il materiale attraversato dalle prove.

Durante tutta la fase di esecuzione delle prove è stata utilizzata una punta a recupero nelle prove DP1, DP2 e DP3, mentre è stata impiegata una punta a perdere nelle prove DP4 e DP5.

Prova DP 1

La prova è stata eseguita fino alla profondità di 6.90 m.

La prova prevede una stratigrafia con terreno agrario e granulometricamente definibile limo argilloso di spessore pari a 0,6 mt., con valori di $N_{spt} = 1$.

Al di sotto si riscontra una litologia prevalentemente coesiva con la presenza di limo argilloso molle fino alla profondità di 2.4 mt. ($N_{spt}=3$) seguono sabbie sciolte con $N_{spt} = 9$ fino alla profondità di 4.0 m, e sabbie compatte ($N_{spt}=14$) fino a 6.9 metri.

Prova DP 2

La prova è stata eseguita fino alla profondità di 6.5 m

La prova prevede una stratigrafia con terreno agrario e granulometricamente definibile limo argilloso di spessore pari a 0,8 mt., con valori di $N_{spt} = 1$.

Al di sotto si riscontra una litologia prevalentemente coesiva con la presenza di limo argilloso molle fino alla profondità di 3.5 mt. (Nspt=2) seguono sabbie compatte con Nspt = 22 e sabbie dense (Nspt=35) fino a 6.9 metri.

Prova DP 3

Con prova è stata raggiunta la profondità di 7.0 m

Durante l'esecuzione della prova è stata individuata la seguente stratigrafia con terreno agrario, granulometricamente definibile limo argilloso, di spessore pari a 0,5 mt., con valori di Nspt =1, successivamente è stato rilevato uno strato a litologia prevalentemente coesiva con la presenza di limo argilloso molle fino alla profondità di 3.7 mt. (Nspt=3).

La stratigrafia propne in successione sabbie compatte con Nspt = 11 e 26 colpi fino alla quota di - 6,5 dal p.c. e sabbie dense (Nspt=37) fino a 7.0 metri.

Prova DP4

La prova è stata eseguita fino alla profondità di 6.5 m.

La prova prevede una stratigrafia con terreno agrario e granulometricamente definibile limo argilloso di spessore pari a 0,7 mt., con valori di Nspt =1.

Al di sotto si riscontra una litologia prevalentemente coesiva con la presenza di limo argilloso molle fino alla profondità di 4.2 mt. (Nspt=2) seguono sabbie compatte con Nspt = 17 e sabbie dense (Nspt=31) fino a 6.5 metri.

Prova DP5

La prova è stata realizzata nella parte est dell'area di progetto ed ha indagato i terreni fino alla profondità di 6.5 m

La prova prevede uno stato di terreno agrario e granulometricamente definibile limo argilloso di spessore 1,0 mt., con valori di $N_{spt} = 1$.

Segue una litologia prevalentemente coesiva con la presenza di limo argilloso molle fino alla profondità di 2.8 mt. con N_{spt} variabile tra 2 e 7 al di sotto è stata rilevata la presenza di sabbie compatte con $N_{spt} = 17$ e sabbie dense ($N_{spt}=31$) fino a 6.5 metri.

10. Caratterizzazione Geotecnica

La definizione dei parametri geomeccanici è stata effettuata per i termini litologici intercettati dalle investigazioni, ed afferenti gli orizzonti limoso-argillosi e sabbioso limoso del deposito alluvionale, utilizzando sia metodologie basate sui valori di NSPT (n° di colpi x 30 cm di penetrazione campionatore SPT), e di DP (n° di colpi x 10 cm di penetrazione dell'asta) tramite le correlazioni proposte da diversi autori, sia le risultanze di prove ed analisi di laboratorio.

La prova SPT, Standard Penetration Test, si rivela particolarmente efficace laddove si registra la presenza di litotipi difficilmente campionabili; essa consiste nell'ingaggiare un penetrometro (tipo Raymond) con caratteristiche standard, mediante i colpi di una massa battente del peso di Kg 63.5 fatta cadere da un'altezza costante di 76.2 cm.

Tale attrezzo viene fatto penetrare nel terreno per 3 tratti consecutivi di 15 cm ognuno.

Il valore ottenuto dalle somme del 2° e 3° tratto rappresenta quello da cui è possibile derivare i parametri geotecnici caratteristici e le valutazioni in ordine allo stato di addensamento del terreno provato.

I risultati delle prove SPT così effettuate sono state inserite ed elaborate con idoneo programma di calcolo, che ha consentito di definire i parametri geotecnici più salienti e diversificati in funzione della granulometria e dalla presenza della falda.

In particolare, i parametri significativi utili a caratterizzare geotecnicamente i litotipi interessati dalle prove, sono stati i seguenti:

Terreni incoerenti:

- γ_n = Peso di Volume
- Dr % = Densità relativa;
- φ° = Angolo di attrito interno;
- M_o = Modulo edometrico di deformazione;

Terreni coesivi:

- γ_n = Peso di Volume
- Cu = Coesione non drenata;
- Ed = Modulo edometrico;

Il numero di colpi rilevato (N_{spt}) in tutte le prove effettuate durante l'esecuzione dei sondaggi, è pari a:

- S1 (3.0 m) = 6 (*Limo argilloso debolmente sabbioso*)
- S1 (4.5 m) = 26 (*Sabbia fine giallastra con limo*)
- S1 (10.5 m) = 17 (*Sabbia fine limosa di colore grigio scuro*)
- S2 (1.3 m) = 7 (*Limo argilloso debolmente sabbioso*)
- S2 (3.8 m) = 18 (*Sabbia limosa giallastra*)
- S3 (1.5 m) = 9 (*Limo argilloso debolmente sabbioso*)

Pertanto, si forniscono le seguenti correlazioni, le cui elaborazioni analitiche figurano tra gli allegati.

Correlazioni S.P.T.

LITOTIPO	γ (gr/cm^3)	N_{spt}	Dr (%)	Dr (AGI)	φ ($^\circ$)	Cu (kg/cm^2)	M_o (kg/cm^2)
----------	---------------------------	-----------	-----------	-------------	------------------------	---------------------	------------------------

Limo argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone	1.89	6	//	Moderatamente consistente	//	0.38	27.53
Sabbie fini giallastre limose mediamente addensate	1.92	18	100	Moderatamente addensato	32.62	//	61.36
Sabbie fini limose grigio scure ben addensate	2.08	35	100	Addensato	35	//	78,82

Tali valori sono da ritenere indicativi e comunque fra quelli minimi proposti e rilevati per i diversi litotipi.

Per i litotipi di cui è stato possibile prelevare campioni indisturbati rappresentativi, sono state eseguite specifiche prove di laboratorio idonee a definirne le caratteristiche fisiche generali, granulometriche e di taglio, di cui si forniscono le risultanze:

S1-C1 (2.00-2.50) – Limo argilloso (Campione indisturbato)

Prove eseguite: determinazione caratteristiche fisiche generali; analisi granulometrica.

-	Peso di vol. naturale	$\gamma_a = 1.90 \text{ g/cm}^3$
-	Contenuto d'acqua	$W = 32,93\%$
-	Indice dei vuoti	$e_o = 0.92$
-	Peso specifico dei granuli	$\gamma_s = 2.74 \text{ g/cm}^3$
-	Porosità	$n = 0.48$
-	Grado di saturazione	$S_r = 98\%$
-	Angolo di attrito (sforzi efficaci)	$\phi' = 22^\circ$
-	Coesione (sforzi efficaci)	$C' = 0.2 \text{ Kg/cmq}$

S2-C1 (4,0 -,4,30) – Sabbia Limosa (campione a disturbo limitato)

Prove eseguite: analisi granulometrica

-	Contenuto d'acqua	$W = 17,67 \%$
-	% in sabbia	$\% = 83,80$
-	% in limo	$\% = 16.20$

Per quanto riguarda questi depositi, non essendo stata rilevata falda acquifera superficiale nell'ambito di tali depositi, anche per l'elevata percentuale presente di componente granulometrica fine, questi appaiono non liquefacibili.

In ogni caso, in fase realizzativa, dovranno essere presi tutti gli opportuni provvedimenti atti a drenare acque di infiltrazione superficiale nel sottosuolo, onde scongiurare la presenza di cause predisponenti il fenomeno della liquefacibilità in caso di sollecitazioni sismiche.

11. Pericolosità geologiche

Per pericolosità geologica deve intendersi il complesso di fenomeni geologici, siano essi morfologici, tettonici, idrogeologici, sismici, ecc., la cui evoluzione induce un rischio o un danno per l'ambiente antropico.

Ne deriva che, a parità di fenomeno che induce il rischio, la pericolosità è anche funzione dell'ambiente in cui essa si sviluppa: in aree fortemente antropizzate (alta densità abitativa), il rischio assume valori massimi, mentre in aree non antropizzate (scarsa densità abitativa), lo stesso fenomeno acquista pericolosità bassa o, addirittura, nulla.

Nell'area in esame non si rilevano forme di pericolosità geologica locale connesse a:

- assetto morfologico;
- forme di dissesto superficiali o profonde;
- fenomeni di tipo gravitativo;
- presenza di faglie;
- esondazioni.

Viceversa, le *pericolosità geologiche locali* possono essere ricondotte a:

- condizione attuale: solo in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati nel tempo nell'area si possono registrare fenomeni di impaludamento per ristagno superficiale di acque meteoriche (in particolare per come si può evincere dalla Carta delle pericolosità geologiche, nella porzione di Nord-Est dell'area), in ogni caso legati al mal funzionamento dell'impianto di idrovore posto in C.da Gelsari, stante che la loro efficienza ne assicurerebbe il loro rapido allontanamento;
- individuazione di un orizzonte argilloso molto compressibile, rilevato in corrispondenza del Sondaggio siglato S3 presente fra 4.0 e 5.0 mt, assolutamente inadatto a sopportare carichi.

Gli accorgimenti da porre in essere, per ovviare a tali inconvenienti, sono facilmente definibili:

- 1- per quanto riguarda il potenziale ristagno d'acqua nella citata area, a parte che interessare gli enti preposti ad effettuare il servizio di pompaggio in caso di emergenza (Consorzio di Bonifica N.10, Lago di Lentini), a monte il problema può essere risolto semplicemente alzando la quota del piazzale di circa 0.80/1.0 mt rispetto all'attuale piano di campagna, provvedendo contestualmente nello stesso piazzale a realizzare una rete di drenaggio superficiale con dei collettori convergenti verso l'attuale canale di scolo principale (posto esattamente sul confine lato Nord dell'area);
- 2- altresì per ciò che concerne la presenza dell'orizzonte argilloso fino a 5.0 mt dal p.c. sarà sufficiente rimuovere tutto il pacco di materiale fino a tale quota, ripristinando la quota del piano di fondazione, laddove necessario, ovvero in corrispondenza di ristrette aree dove realizzare strutture edilizie (tipo alloggi del custode, uffici, etc.) con "Tout venant di cava" adeguatamente rullato.

Conclusioni

Lo studio geologico-geomorfologico relativo all'intervento di realizzazione di: **“Progetto di impianto FV a terra di potenza pari a 50,08 MW in DC e 40,26 MW in immissione e delle opere connesse da installarsi nel territorio del comune di Carlentini -SR-”** effettuato per conto della Ditta: **Trina Solar STG S.r.l.**, nel territorio del Comune di Carlentini (SR), ha permesso di accertare la locale situazione geolitologica, nonché gli aspetti geomorfologici, idrogeologici, litotecniche, sismiche e quant'altro necessario al fine di poter esprimere delle valutazioni complessive per la fattibilità dell'intervento in tale ottica.

Per quanto richiamato in premessa, avendo eseguito analogo lavoro nel 2008 per la realizzazione di “Complesso integrato Tenuta Grande” nella stessa area è a tali indagini che si si è fatto riferimento riprendendole integralmente; in tale occasione furono eseguite delle attente indagini di superficie a cui seguirono delle appropriate ed utili indagini geognostiche e geofisiche finalizzate, nella fattispecie, ad appurare la reale successione litostratigrafica generale nonché le caratteristiche sismiche, geomeccaniche, idrogeologiche generali di tutta l'area inserita in un contesto territoriale adeguato.

In particolare, il rilievo effettuato nell'area di progetto accertò che in superficie al di sotto di un terreno agrario, sono presenti alluvioni recenti ed attuali del Fiume San Leonardo, mediamente con uno spessore di circa 3.0 mt, soprastanti un deposito continentale prevalentemente sabbioso (che sconfinava nella limitrofa zona a mare in un deposito di spiaggia) fino alla profondità di circa 28 mt, oltre tale profondità si registra la presenza di formazione marina ben rappresentata in questa porzione di territorio e nota col termine di “Argille grigio-azzurre” (Substrato).

L'esame morfometrico del sito ha evidenziato una situazione caratterizzata dall'assenza di vere e proprie pendenze, e generalmente non superiori al 2% verso E-NE.

La locale sequenza litostratigrafica fu dunque ricostruita sulla scorta di quanto emerso da una campagna di indagini così articolata:

- 4 *Esecuzione di n° 6 pozzetti esplorativi con escavatore meccanico;*
- 4 *Esecuzione di n° 3 sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo, con prelievo di n°2 campioni ed esecuzione di n° 6 prove in foro di tipo S.P.T.;*
- 4 *N.5 prove penetrometriche dinamiche realizzate con DPM 030 della Pagani Geotechnical.*

Le caratteristiche fisiche, granulometriche e di taglio dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi, sono state definite attraverso opportune prove eseguite in laboratorio specializzato.

Inoltre, al fine di definire le caratteristiche elastiche dei terreni intercettati nel sondaggio spinto fino alla profondità di 31 mt, attrezzato a tal fine, fu effettuata una indagine geofisica attraverso n°1 prova sismica in foro di tipo "Down-Hole".

Le caratteristiche morfologiche e strutturali consentono di ritenere il sito idoneo per le finalità in progetto, prevedendo però opportuni accorgimenti tecnici di cui si tratterà nelle note che seguono.

La porzione di terreni presenti fino alla quota di circa 3.0, comprendendo dunque sia la porzione di *Terreno agrario* che di "*Limo argilloso*", si presenta inidonea a ricevere carichi trasmessi in maniera diretta o indotta da una struttura, sia per le scadenti caratteristiche geotecniche che, e soprattutto, per la compressibilità.

Pertanto la eventuale realizzazione di manufatti previsti in progetto non potrà prescindere almeno dalla rimozione di questi orizzonti.

In tal caso, in corrispondenza dell'impronta della struttura, si dovrà operare un ripristino di quota mettendo in opera un rilevato artificiale utilizzando materiale di cava a granulometria adeguata con le caratteristiche ottimali di umidità ed addensamento fino al raggiungimento della quota fondazione e comunque per uno spessore non inferiore a 2.0 m.

In tal caso lo strato di tout venant interposto, tra le fondazioni ed il materiale sabbioso di substrato avrà la funzione di assorbire direttamente e per gran parte il carico derivante dalle strutture, limitando i cedimenti teorici prevedibili.

In merito alla presenza della falda idrica superficiale, è il caso di ribadire che trattasi di falda con caratteristiche di sconfinamento, attribuite dalla presenza al tetto di essa di un litotipo limoso-argilloso pressoché impermeabile, tant'è che sia all'interno del tubo piezometrico realizzato in corrispondenza di S3 che nel corso degli scavi effettuati si registra una risalita delle acque fino a poco più di 1.0 mt dal p.c.; tali acque, peraltro di scarsissima qualità, oltre che, verosimilmente, salate in quanto direttamente connesse con la linea di costa e con essa comunicante per la continuità delle sabbie di substrato con i depositi di spiaggia, di natura pressoché simile almeno limitatamente alle porzioni superiore (sabbia fine limosa giallastra).

Pertanto, è chiaro che una tale condizione impone un costante monitoraggio, con pozzetti d'ispezione all'uopo realizzati (almeno 5 uno per ogni spigolo) per consentire, inducendo la depressione della falda, la conseguente osservazione degli effetti prodotti.

L'esecuzione del Down Hole, correlato all'accertamento della successione litostratigrafica, consente di asserire che è stata individuata un'unica area ad uguale rischio sismico, che presenta uguali valori di intensità sismica ovvero di accelerazione massima al suolo (PGA).

Per quanto attiene alla problematica relativa alla liquefacibilità è stato altresì stabilito che le caratteristiche granulometriche (sabbia limosa di cui 83,8% sabbia e 16,2% limo secondo quanto stabilito dall'analisi granulometrica effettuata) ed ancor più il grado di addensamento, stimato attraverso il numero di colpi delle prove SPT e DPM 030, consentono di escludere che trattasi di terreni suscettibili alla liquefacibilità; fermo restando che puntuali valutazioni dovranno essere espresse sulla scorta di più approfonditi accertamenti

Come in altra parte riferito, l'estensione delle aree impermeabilizzate



impone particolare attenzione per lo smaltimento delle acque superficiali, stante che solo un'adeguata rete di canalizzazione, attraverso la realizzazione di caditoie/griglie e quant'altro ritenuto utile ad intercettare le acque di ruscellamento laminare che si svilupperanno lungo tutte le superfici, con allontanamento delle stesse nel canale di "sgrondo" (posto a Nord dell'area) con collettori di diametro adeguato.

In definitiva adottando gli accorgimenti teste riportati, le caratteristiche geomorfologiche ritrovate unitamente ai vari aspetti geologico tecnici fin qui descritti e più volte richiamati, consentono di poter sostenere che nulla osta alla realizzazione dell'impianto fotovoltaico in progetto.

Va da se che nella fase esecutiva si dovrà procedere ad una puntuale definizione delle caratteristiche geotecniche, attraverso l'esecuzione di indagini geognostiche e geofisiche integrative anche al fine di tener conto del recente D.M. 17/01/2018 e successiva Circolare LL.PP. n.7 del 21/01/2019.



Il Geologo

Dott. C. Carnazzo



INQUADRAMENTO SU STRALCIO I.G.M. | SCALA 1:25.000

LEGENDA

--- Area interessata dall' impianto

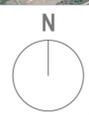
DIREZIONE REGIONALE DEI GEOMETRI DI SICILIA

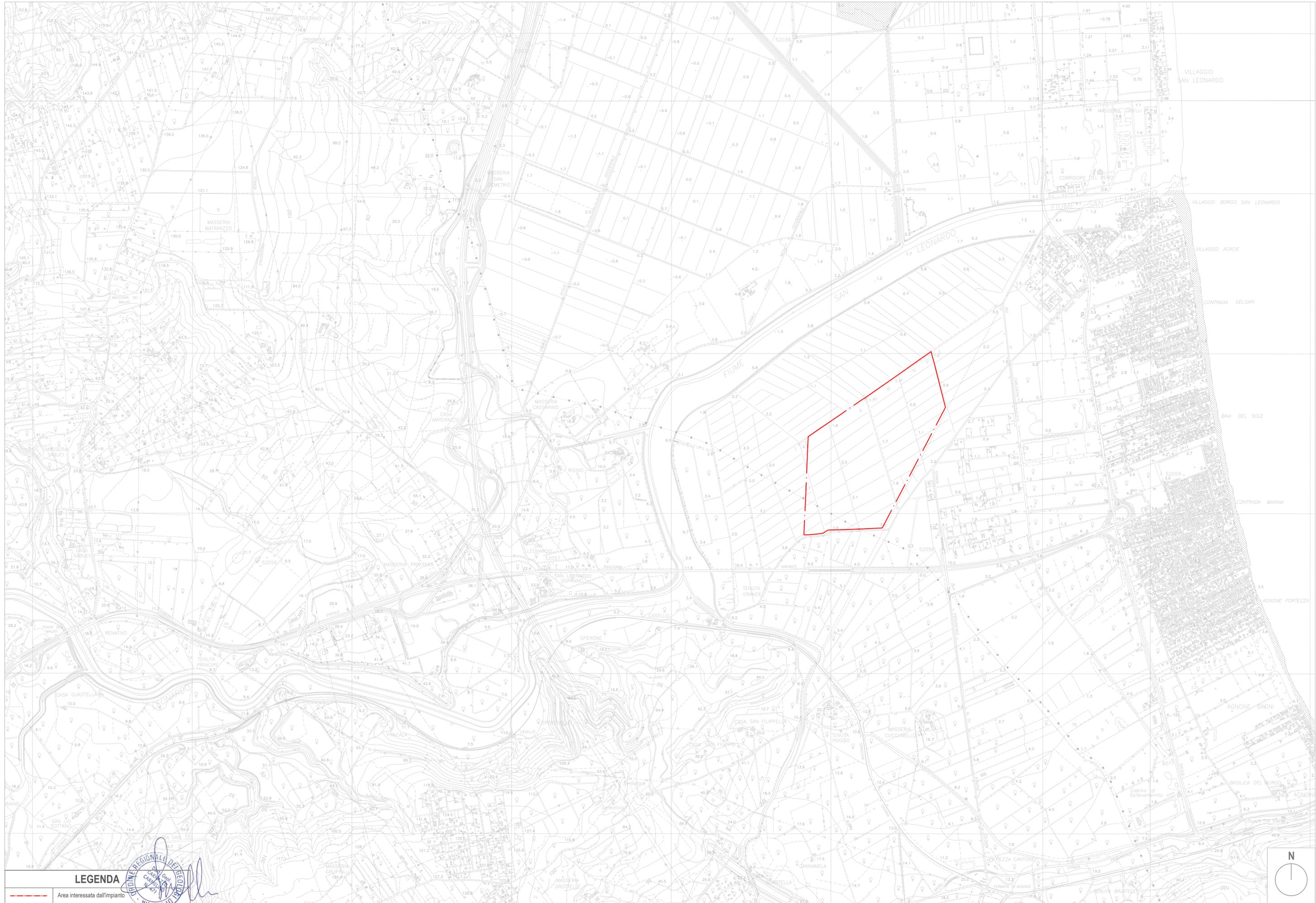


LEGENDA

Area interessata dall'impianto

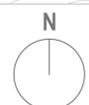
INQUADRAMENTO SU ORTOFOTO, COORDINATE BARICENTRICHE: 37° 19' 45.16" N, 15° 4' 16.31" E | SCALA 1:10.000

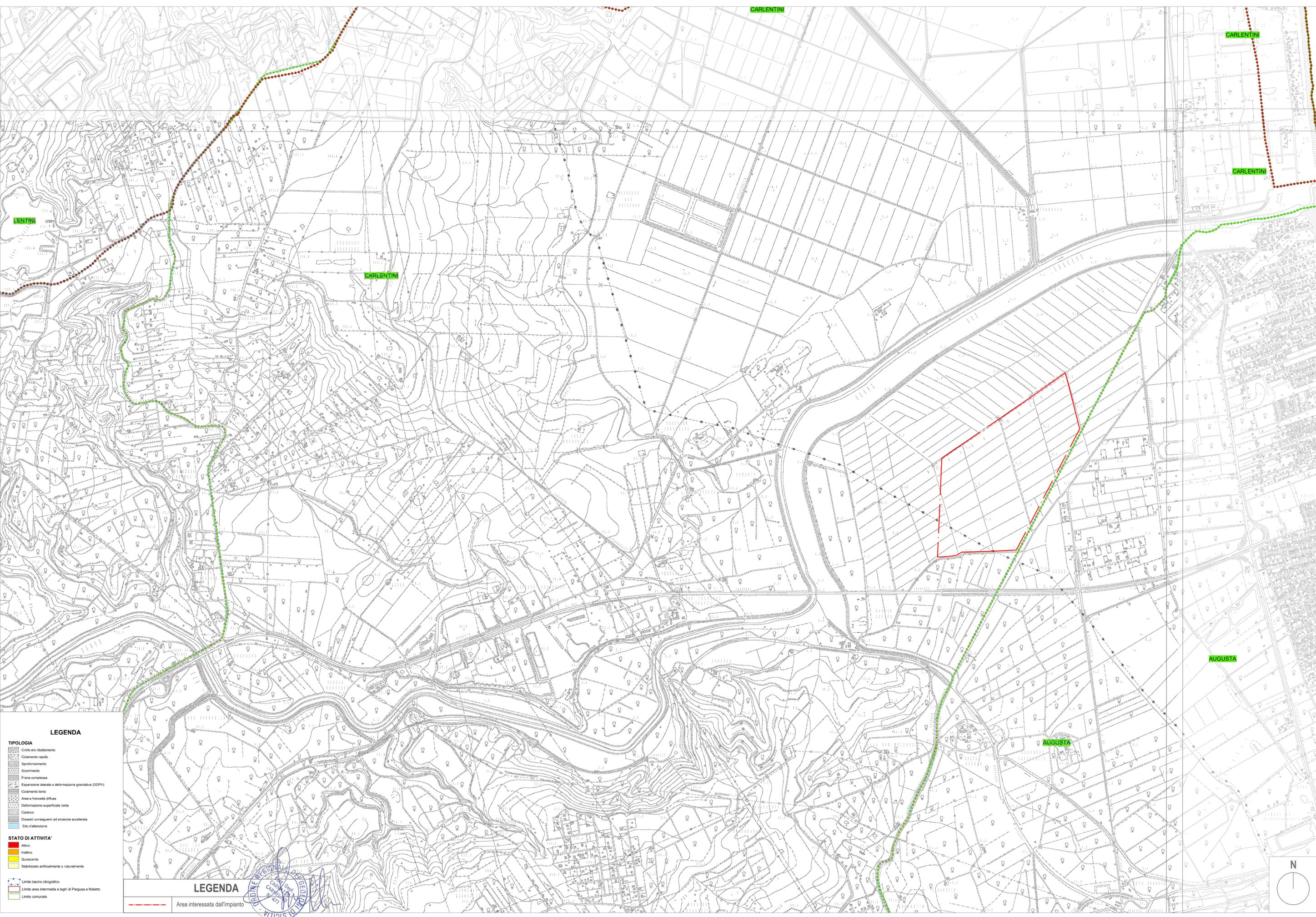




LEGENDA

Area interessata dall'impianto





LEGENDA

TIPOLOGIA

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a frangente diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissati conseguenti ad erosione accelerata
- Sito d'attenzione

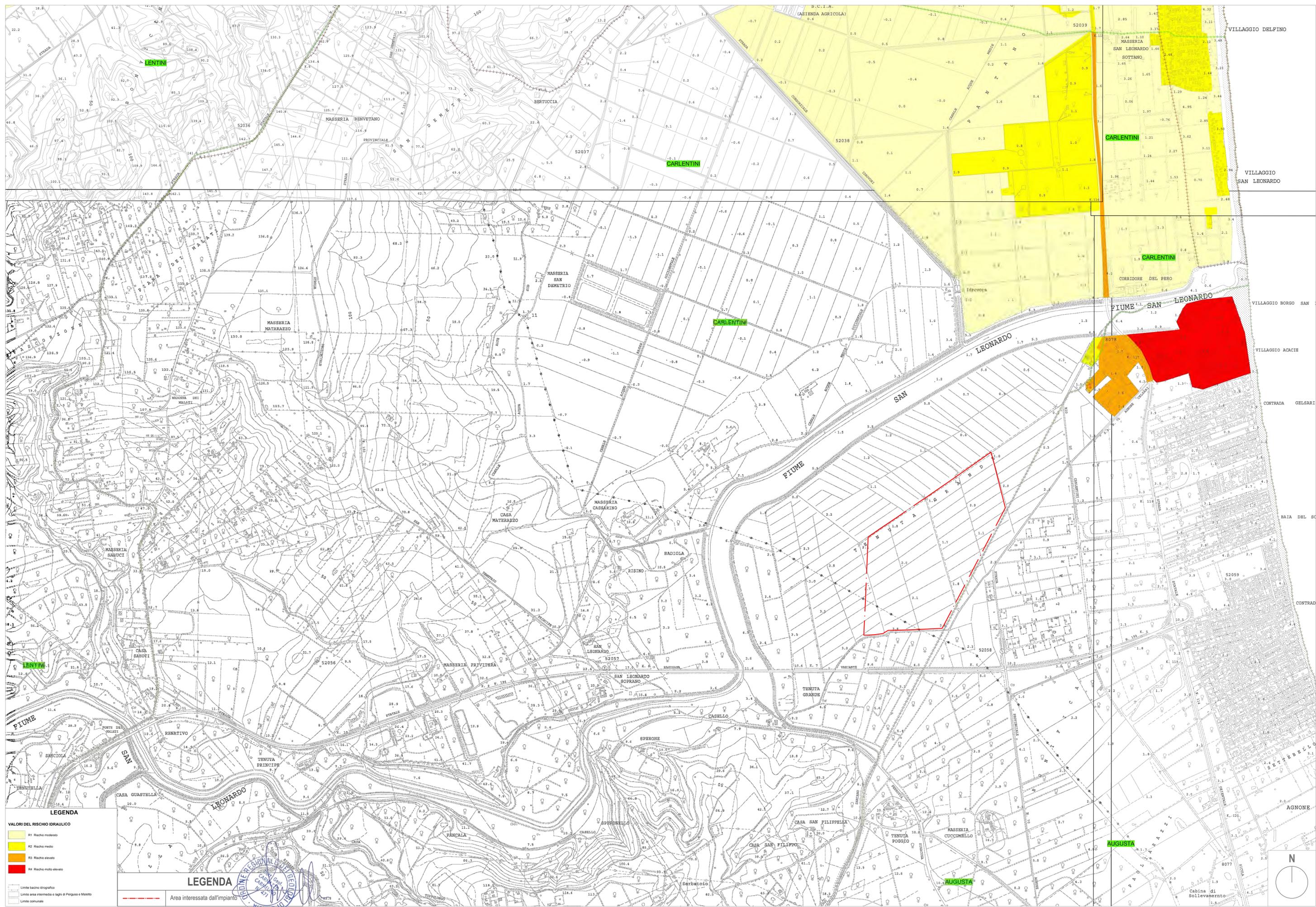
STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

--- Limite bacino idrografico
--- Limite area intermedia e laghi di Pergusa e Malletto
--- Limite comunale

LEGENDA

--- Area interessata dall'impianto



VALORI DEL RISCHIO IDRAULICO

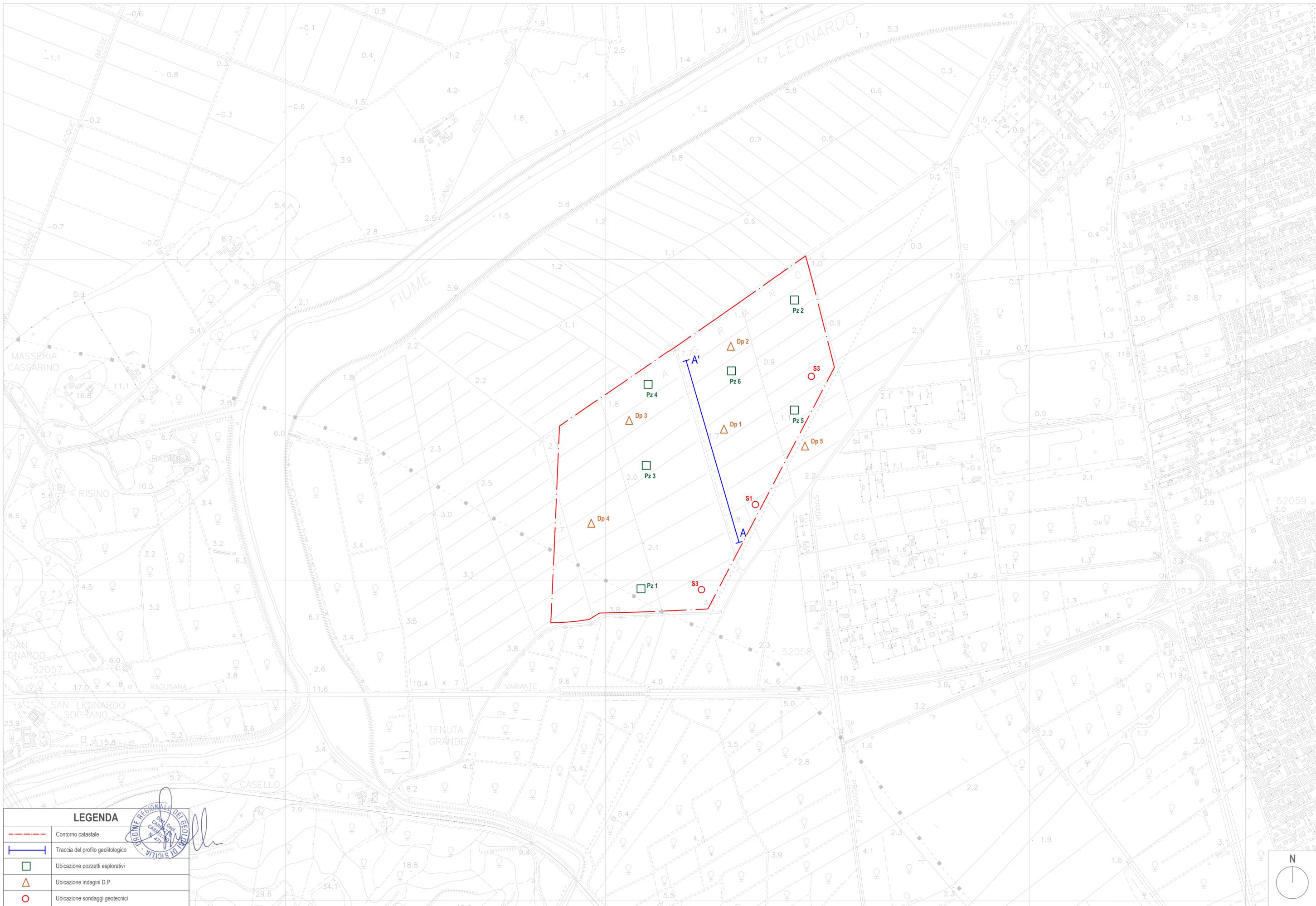
	R1 Rischio moderato
	R2 Rischio medio
	R3 Rischio elevato
	R4 Rischio molto elevato

--- Limite bacino idrografico
 --- Limite area intermedia e laghi di Perugia e Maceto
 --- Limite comunale

Area interessata dall'impianto

LEGENDA





LEGENDA

	Contorno catastale
	Traccia del profilo geologico
	Ubicazione pozzetti esplorativi
	Ubicazione indagini D.P.
	Ubicazione sondaggi geotecnici

