

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA

COMMITTENTI:

Ecoteti s.r.l. Unipersonale | Partita Iva: 01479740530
Sede - Via Francia n.15 angolo Viale Europa - Grosseto
| Sede Impianto Rifiuti - Loc. Ingegnere - Sticciano Scalo - Roccastrada (GR)

COMUNE DI ROCCASTRADA

Giugno 2023

OGGETTO:

RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOTECNICA

Relazione Geologica - Nuova Costruzione di un fabbricato artigianale ad uso deposito materiali Comune di Roccastrada - Loc. Ingegnere

RELAZIONE GEOLOGICA

RELAZIONE SISMICA



Geom. Geol. Uccelletti Fabrizio

Via Danimarca n. 9 P.za C. Cavalieri n.1 – CAP 58100 - Grosseto

CF: CCL FRZ 80S28 E202L - P.Iva: 01490130539

M: +393337871206 – T: 0564411645 - @: uccelletti.fabrizio@gmail.com

AOOGR/AD Prot. 0651165 Data 16/06/2024 ore 09:20 Classifica P.140.020.

RELAZIONE GEOLOGICA

Relazione Geologica

Premessa

Inquadramento Giuridico (Ambiti e Vincoli territoriali)

Rischio Sismico

Rischio idraulico e Geomorfologico

Geomorfologia

Geologia

Idrogeologia

Litotecnica

Considerazioni conclusive

PREMESSA

Per conto e su incarico dei proprietari dei locali, **ECOTETI srl P.Iva 01479740530**, e per presa visione degli elaborati del **Geom. Graziano Bindi**, è stata redatta la seguente relazione geologica e geognostica avente come scopo sia lo studio delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei luoghi d'interesse, sia valutare ed esprimere un giudizio sulla compatibilità tra l'opera in progetto ed il contesto geologico-ambientale dell'area in esame; nonché valutare le eventuali interazioni ambientali e idrogeologiche conseguenti i lavori da eseguire.

L'opera è ubicata all'interno della Particella catastale 222-221, censita nel Foglio n°273 **Loc. Ingegnerie - Zona Sticciano Scalo, Comune di Roccastrada** - S.P. Ingegnere (n. 90), e consiste in una **"Nuova Costruzione di un fabbricato artigianale ad uso deposito materiali"**.

INQUADRAMENTO GIURIDICO (Ambiti e Vincoli territoriali)

Valutata l'entità dell'intervento e quindi la finalità del nostro studio, si è proceduto ad effettuare un rilievo geologico, idrogeologico e geomorfologico dei luoghi d'interesse ed elaborare i dati provenienti da **prove geognostiche**, in modo tale da ottenere sufficienti informazioni da integrare con i dati ricavati dalla bibliografia e cartografia esistente. In dettaglio il lavoro svolto si è articolato nelle seguenti fasi:

- *Rilievo e esame della situazione geologica, morfologica, ed idrogeologica.*
- *Raccolta di dati da studi o ricerche relativi all'area di interesse.*
- *Determinazione delle caratteristiche litologiche dei terreni di interesse, mediante stime speditive di campagna tipo visivo-comparative, granulari-modal secondo le indicazioni A.G.I. e I.S.R.M..*
- *Verifica delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni indagati.*
- *Ricostruzione del modello geologico-litotecnico.*
- *Stesura del rapporto conclusivo.*
- *Elaborazione cartografica di riferimento.*

Per la stesura della presente si è fatto riferimento alla seguente normativa

La normativa vigente relativa all'intervento in progetto è la seguente:

- D.M. 11/03/1988 e relativa Circ. Appl. Min. LL.PP. n° 30483 del 24/09/1988;
- Decreto Interministeriale 14/09/2005 "norme tecniche per le costruzioni";
- "Nuove NTC 2018" – pubblicate in GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8;
- "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" – approvate con D.M. 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30. Successivamente sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27 è stata pubblicata la Circolare 2 febbraio 2009 contenente le istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni". Il 30 giugno 2009, per effetto del D.L. 39/2009, convertito nella Legge 77/2009, è terminato il regime transitorio per l'operatività della revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni e pertanto dal 1° luglio 2009 è obbligatoria l'applicazione delle nuove NTC.
- D.L. 152 del 29/03/2006 "Norme in materia ambientale";
- D.P.G.R. 36/R/2009 "regolamento attuaz. Art. 117 commi 1 e 2 della L.R. n° 1/2005;
- Ordinanza n° 3274 del 20/03/2003 "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", Del. G.R. 431 del 19/06/2006 "Attuazione del D.M. 14/09/2005 e O.P.C.M. 3519 del 28/04/2006" e del D.M. 14/01/2008,
- P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico) Bacino Ombrone dell'anno 2004;
- Piano Strutturale del Comune di Roccastrada;
- Regolamento Urbanistico del Comune di Roccastrada;
- P.T.C. (Piano Territoriale di Coordinamento) della Provincia di Grosseto dell'anno 2010.

Il sito d'interesse **non ricade** nelle aree delimitate dal **Vincolo Idrogeologico** ai sensi del Regio Decreto n. 3267 del 30 dicembre 1923 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e terreni montani" e regolamento di applicazione Regio Decreto n. 1126 del 1926. La regione Toscana ha regolamentato ulteriormente le zone vincolate con l'emanazione della Legge Regionale n. 39 del 2000 "Legge Forestale della Toscana" e regolamento d'attuazione Decreto del Presidente della Giunta Regionale

n. 32/R del 16 marzo 2010 (modifiche al regolamento emanato con decreto del Presidente della Giunta Regionale n. 48/R del 8 agosto 2003 - Regolamento forestale della Toscana).

L'opera in oggetto rispetta le salvaguardie di cui al **PIT** - Piano di Indirizzo Territoriale della Regione Toscana; **PAI** - Piano di Assetto Idrogeologico Ombrone (gennaio 2005); **PTC** - Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Grosseto (adottato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 200 del 6 novembre 1998 e approvato con Delibera Consiglio Provinciale n. 30 del 30 aprile 1999). La presente è stata redatta in conformità alle norme del **Piano Strutturale del Comune di Roccastrada** e del **Regolamento Urbanistico** del Comune di Roccastrada.

RISCHIO SISMICO

La **classificazione sismica** del territorio nazionale ha introdotto **normative tecniche** specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo **rischio sismico**. In basso è riportata la **zona sismica 3** per il territorio di Roccastrada, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 421 del 26 maggio 2014.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$ag > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < ag \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.225
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < ag \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	2.810
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$ag \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	2.186

RISCHIO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista del **Piano di Assetto Idrogeologico** (P.A.I.) del Bacino Regionale dell'Ombrone (nuove perimetrazioni redatte dalla Regione Toscana in base alla Legge n. 183 del 1989, al Decreto Legge n. 180 del 11 giugno 1998, alla Legge di conversione n. 267 del 03 agosto 1998 e successive modificazioni, Decreto Legislativo n. 279 del 2000 convertito con la Legge n. 365 del 2000) la zona studiata viene classificata nella tavola 8-74 della Carta di Sintesi di Tutela del territorio (gennaio 2005) come "**Dominio idraulico**".

All'interno di questo dominio l'area investigata non risulta delimitata da nessuna situazione di rischio idraulico - P.I.E., P.I.M.E. - o di particolare rischio geomorfologico - P.F.E., P.F.M.E.

Secondo quanto riportato negli strumenti urbanistici del **Comune di Roccastrada**, l'area in esame ricade nelle zone a **Pericolosità Idraulica** è infatti inserita nella classe **Pericolosità Idraulica I2**, mentre per **Pericolosità Geomorfologica** l'area in esame è inserita nella classe **Pericolosità Geologica Bassa - Classe 3 b Pericolosità Elevata**.

Le indicazioni che si ottengono dalla cartografia del **Regolamento Urbanistico** per le aree soggette a "Pericolosità", indicano che la zona di studio è interessata da:

Pericolosità Idraulica I2 Media (ai sensi del D.P.G.R. 26/2007) Classe PGRA P1

L'intervento è ricadente parzialmente nella classe di pericolosità idraulica I2 "**Media**" data la vicinanza con il vicino **Torrente Rigo**.

Pericolosità Geomorfologica G3b - Elevata (ai sensi del D.P.G.R. 26/2007)

Pericolosità da alluvione nel Distretto Appennino Settentrionale (PGRA) - dominio fluviale

L'area oggetto di studi è rientrate parzialmente nella perimetrazione della Classe PGRA P1 e P2

Pericolosità da alluvione in ambito fluviale nel Distretto Appennino Settentrionale ai sensi della Direttiva 2007/60 CE e del D.Lgs 49/2010, con definizione dei tre scenari di probabilità di inondazione scarsa (P1), media (P2) ed elevata (P3).

Per il bacino dell'Arno e per i bacini Toscana Costa, Toscana Nord, Ombrone e Magra, i tre scenari di probabilità sono riconducibili ai tempi di ritorno **TR ≤ 30 anni (P3), 30 anni < TR ≤ 200 anni (P2) e TR > 200 anni (P1)**. Per i bacini liguri i tre scenari di probabilità sono riconducibili ai tempi di ritorno TR ≤ 50 anni (P3), 50 anni < TR ≤ 200 anni (P2) e 200 anni < TR ≤ 500 anni (P1). Per il bacino del fiume Serchio, gli scenari di probabilità sono riconducibili ai tempi di ritorno 20 anni ≤ TR ≤ 50 anni (P3), 100 anni ≤ TR ≤ 200 anni (P2) e TR > 200 anni (P1).

GEOMORFOLOGIA

L'area in esame si trova nel **Comune di Roccastrada**, lungo la via *interna*, in **Loc. Ingegnere** presso il **l'area industriale**. Alla proprietà della committenza, si accede tramite la viabilità del nucleo urbano. L'intera zona d'indagine è ricca di aree verdi coltivate e aree a bosco naturale, le residenze isolate prossime al centro abitato sono comunque inserite in un contesto extraurbano e modestamente alterato dalla mano dell'uomo.

La porzione di terreno interessata da quanto in progetto, situata ad una quota di **45 metri** sul livello del mare, il luogo risulta comunque in leggero rilievo rispetto alle aree industriali prospicienti che degradano velocemente a quote inferiori.

L'area di intervento ricade all'interno di un comprensorio i cui lineamenti morfologici originari sono stati parzialmente obliterati dalle attività agricole e dalle opere idraulico-agrarie di bonifica, e presenta caratteri tipici della zona continentale di piana alluvionale-lacustre, ed i rilievi collinari-montuosi interposti, in cui dominano alti morfologici di modesto rilievo.

L'orografia e la regimazione idraulica hanno condizionato l'idrografia, che nel complesso è caratterizzata dalla presenza di un reticolo a densità media, con corsi d'acqua a regime variabile e direttamente dipendente dalle precipitazioni. L'elemento idrografico più importante dell'area è il **Torrente Rigo**, che presenta nella zona il caratteristico andamento di valle a una quota di circa 36 m e quindi le aree di intervento si trovano ad una quota di circa 9 m più in alto, se pur di modeste dimensioni il suo bacino imbrifero risulta molto esteso nelle colline prossime.

L'area esaminata non è interessata da processi di dissesto gravitativi e/o fenomeni di carattere erosivo legati al ruscellamento superficiale, non sono state messe in evidenza tracce di stagnazione e non si riscontrano fenomeni di subsidenza, inoltre la struttura limitrofe già realizzata oggetto di intervento non mostra segni di lesione sulle strutture portanti. **L'area sede dell'intervento non è quindi interessata da fenomeni tali da compromettere o limitare l'uso dell'opera.**

L'area oggetto di studi è stata fortemente antropizzata nella precedente destinazione d'uso, le quote di imposta del piazzale saranno normalizzate al fine di regolare quelle che sono le pendenze del normal declivio del terreno.

GEOLOGIA

Le caratteristiche geologiche della zona in studio sono state dedotte dalla documentazione ufficiale del Servizio Geologico d'Italia in scala 1:100.000, dalla nuova cartografia geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000, dalla tavola del Piano Strutturale del comune di Roccastrada, e da altre pubblicazioni e trattati geologici relativi al comprensorio; le informazioni bibliografiche sono state verificate e approfondite tramite un rilevamento geologico di campagna.

Le indagini svolte nel presente rapporto sono estese all'area direttamente interessata dall'intervento e ad un "intorno" comprendente l'unità di territorio individuabile con criteri geologici e geomorfologici.

L'area in esame fa parte di una vasta pianura costiera con ampia estensione anche nell'entroterra grossetano. Si tratta di un'area caratterizzata da estesi affioramenti di sedimenti continentali recenti ed attuali opera della deposizione e rielaborazione di sedimenti a granulometria variabile, in ambiente fluviale, lacustre e marino. Il significato geologico della pianura è quello di un ambiente che in età pliocenica faceva parte del dominio marino nei pressi della costa, nel bacino del Fiume Ombrone, dove si depositavano e si sovrapponevano con interdigitazioni i sedimenti trasportati dal fiume, i sedimenti lacustri e quelli marini costieri.

Geologicamente quindi si individua un quadro dei rapporti stratigrafici assai complesso ed articolato in modo variabile da zona a zona; le varie formazioni, che tra l'altro mostrano chiari definizioni litologiche, sono

spesso presenti in varie porzioni della fascia alluvionale della pianura grossetana le quali presentano rapporti graduali, passaggi sfumati ed interdigitazioni assai variabili.

DS - DEPOSITI SUPERFICIALI - Alluvioni Attuali

Ghiaie limose; miscela di ghiaia, sabbia e limo. Frazione fine abbondante. (GM) Sedimenti fluviali all'interno degli alvei di piena ordinaria. *Pleistocene Medio - Pleistocene Superiore*

La formazione delle alluvioni attuali è qui caratterizzata prevalentemente dalla porzione sabbiosa a granulometria medio-fine, limosa, di colore variabile da marrone giallastro a marrone arancio, fino a rossastro anche molto scuro. Nella matrice sabbiosa sono presenti anche alcuni elementi detritici e, subordinatamente, ciottolosi, di colore marrone arancio fino a nerastro, e di natura sia arenacea sia calcareo-marnosa. Gli elementi hanno dimensioni prevalenti al di sopra del centimetro e solo sporadicamente si rinvencono di dimensioni decimetriche (10-20 cm); prevalgono le forme angolari su quelle più specificatamente arrotondate.

L'area oggetto di studi è comunque da considerarsi di raccordo tra le litologie più o meno grossolane presenti nei depositi di una conoide che prende origine dal **TORRENTE RIGO**, collina limitrofa e le litologie del Conglomerati Eterometrici che sono presenti nel rilievo collinare posto a Nord. Tali ipotesi stratigrafiche sono state verificate in fase di indagini geognostiche.

IDROGEOLOGIA

Nell'area esaminata, affiorano terreni costituiti da **Unità idrogeologiche** caratterizzate da una **permeabilità media per porosità**, dove i pori che consentono il passaggio dell'acqua si sono formati contemporaneamente alla sedimentazione del materiale che li contiene.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti nell'area di indagine, queste sono riferibili ai depositi alluvionali che costituiscono una formazione idrogeologica caratterizzata da una permeabilità per porosità, dove i vuoti che consentono il passaggio dell'acqua si sono formati contemporaneamente al litotipo che li contiene e fanno parte della sua struttura e tessitura e sono funzione delle dimensioni, forma, disposizione e cementazione dei granuli costituenti il sedimento. La formazione in oggetto per caratteristiche litologiche e granulometriche, può essere correlata ad una permeabilità Media-Bassa.

Il LIVELLO STATICO DI FALDA FREATICA nella zona di indagine è stata riscontrata una falda interdigitata ai livelli argillosi che ha origine ad una quota non superiore ai 1,8 m dal p.c., in livelli inturgiditi con le argille e limi, nei periodi invernali, mentre nella stagione siccitosa a causa della carenza di acqua i primi 3 metri risultano fortemente asciutti facendo risultare anche alcune variazioni altimetriche del livello di falda dal p.c..

Si osserva che comunque in un arco temporale come quello assegnato non possiamo avere una conoscenza storica tale che permetta la valutazione delle oscillazioni di falda che invece prevederebbe almeno 4 misurazioni annuali.

Sulla base delle considerazioni fatte circa la natura geologico-geomorfologica-strutturale del complesso che ospiterà l'opera in progetto, sono da escludere importanti interazioni tra la falda e le strutture fondali. Non saranno, quindi, alterati dall'opera in oggetto, né i regimi idrogeologici del deflusso sotterraneo delle acque di falda, né i regimi idrologici relativi al deflusso superficiale, risultando quindi compatibile con gli **equilibri idrici dell'area**.

La Vulnerabilità della Falda Idrica è da ritenersi media per porosità così come anche indicato dal **Piano Strutturale** del **Comune di Roccastrada** che indica la località oggetto di studi ricadente nell'unità **Vulnerabilità Alta**.

LITOTECNICA

Nella **Relazione Geologica**, come ad oggi normato, si deve provvedere alla suddivisione o raggruppamento delle diverse unità geologiche, già classificate nella cartografia ufficiale, partendo dal basso in:

UNITA' DEL SUBSTRATO LAPIDEO - rocce vere e proprie ("rocce dure"), sia massicce che stratificate; Esse si suddividono a loro volta in: **A) materiale lapideo formato da un unico litotipo di elevata resistenza, non stratificato in grosse bancate** (ad es. graniti, calcari massicci, ecc.); **B) materiale lapideo formato da un unico litotipo** (ad es. calcari, arenarie, marne, ecc.), *stratificato, o da alternanze di livelli*

lapidei e di livelli pelitici (flysch); divisibile in sottounità, a seconda dello spessore degli strati, dei rapporti fra le diverse litologie, del grado di ordine o disordine strutturale (fino ad una struttura "caotica" vera e propria);

UNITA' DEI MATERIALI A COMPORTAMENTO INTERMEDIO - *materiali a comportamento intermedio tra le rocce propriamente dette e le terre (rocce deboli e unità complesse)*; Esse si suddividono a loro volta in:

C) rocce e rocce deboli a tessitura grossolana, formate da materiali granulari debolmente cementati o da rocce degradate per alterazione; divisibile in sottounità, a seconda della composizione granulometrica prevalente (ghiaia o sabbia);

D) rocce deboli a tessitura fine e ad elevata consistenza (argilliti, siltiti, marne); divisibile in sottounità, a seconda della frazione fine prevalente (limo o argilla);

UNITA' DELLE TERRE DI COPERTURA (terre coesive, terre non coesive, terre organiche, eventuali materiali di riporto e rifiuti). Esse si suddividono a loro volta in:

E) terre granulari, non cementate o debolmente cementate; a sua volta divisibile in sottounità, a seconda della composizione granulometrica prevalente;

F) terre coesive a medio bassa consistenza; divisibile in sottounità, a seconda della frazione fine prevalente (limo o argilla) e della eventuale presenza di frazione organica.

In base a quanto affermato la formazione in oggetto è da associare al tipo "F".

Il Piano Strutturale del comune di **Roccastrada** nella "**Carta Litotecnica**" conferma quanto detto, definendo l'area di intervento con la **Unità E2**. A tale classe appartengono le formazioni appartenenti alle - Sabbie (Elementi Lapidei compresi tra 2 e 0,06 mm).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base delle indagini e delle elaborazioni svolte, in virtù delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito dove insiste l'opera in oggetto e considerate le normative vigenti, emerge quanto segue:

CONCLUSIONI RELAZIONE GEOLOGICA	
MODELLO GEOLOGICO	Il terreno oggetto di studio è stato individuato come appartenente alla formazione dei Alluvionali Attuali: Argille con Sabbie e limi in matrice argillosa .
DISSESTI GEOMORFOLOGICI	Nello specifico del sito in esame non sono presenti lineamenti di dissesto geomorfologico attivo e/o quiescente
MODELLO GEOLOGICO STRUTTURALE	Non sono visibili alla scala di indagine lineamenti tettonici e/o strutture sepolte legate a tettonica attiva sono comunque presumibili aree di interesse tettonico nelle litologie sepolte.
FALDA	Falda presunta a quota - 1,8 m da p.c. Nel sottosuolo dell'area sede degli interventi in oggetto la falda idrica si trova su un livello superficiale. Le nuove strutture comunque, rientranti in un piano di ampliamento interno ad un lotto già urbanizzato. Tali interventi in progetto quindi non modificheranno la circolazione dell'acqua sotterranea.
PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	Pericolosità Geologica Bassa Pericolosità dal P.S.C. Pericolosità Geologica Elevata (Classe G.3) dal R.U.C.
PERICOLOSITA' IDRAULICA	Pericolosità Idraulica Media (Classe I.2) dal R.U.C. PGRA CLASSE P1
OSSERVAZIONI SULLA STRUTTURA	La struttura di nuova costruzione sarà fondata su un suolo antropizzato le cui caratteristiche locali sono molto variabili da molto consolidate a rimaneggiate. Ad oggi, non sono riscontrabili, particolari anomalie riconducibili a problematiche geologiche.
PROVE GEOGNOSTICHE	Sono state effettuate saggi geognostici per la determinazione comparativo visive delle caratteristiche geotecniche del terreno. Sono state eseguiti rilievi dell'area e sono state analizzate le Indagini pregresse a disposizione dello scrivente per a determinazione delle stratigrafie sepolte.

Secondo le norme relative all'assetto idrogeologico del Regolamento Urbanistico che fanno riferimento al Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Grosseto, si può così riassumere le classi di rischio:

Rischio geologico **classe n. 3**
Rischio idraulico **classe n. 2**

Vulnerabilità delle falde acquifere

classe n. 2

Determinate le tre classi di rischio, geologico, idraulico e di vulnerabilità della falda, si può rilevare che le premesse di intervento non condizionano in alcun modo le condizioni geologiche di base.

Dalla matrice sopra esposta e data la complessità dell'opera in progetto la **classe di fattibilità generale risulta la n. 2**, fattibilità con normali vincoli.

Si può quindi affermare che non si rilevano elementi geologico/ambientali locali che impediscono la realizzazione dell'interventi e pertanto si esprime **PARERE GEOLOGICO DI FATTIBILITÀ FAVOREVOLE** alla realizzazione dell'opera stessa.

La validità delle ipotesi progettuali dovrà essere controllata durante la realizzazione dei lavori, in modo da accertare eventuali nette discrepanze tra i dati e le elaborazioni idrogeologiche e tecniche fornite e lo stato effettivo dei terreni. S'invita, perciò, sin d'ora la **COMMITTENZA** e la **DIREZIONE LAVORI** a comunicare il termine delle operazioni su terra, preliminari al getto o al rinforzo delle fondazioni al fine di eseguire un sopralluogo di verifica e controllo in modo da adottare, eventualmente, ogni ulteriore accorgimento utile alla corretta esecuzione degli stessi interventi.

Geol. Fabrizio UCCELLETTI



RELAZIONE GEOTECNICA

Relazione Geotecnica

Normativa geotecnica

Rapporto terreno struttura

Programma delle indagini e delle prove geotecniche

Dati Pregressi

Quadro di sintesi geotecnica

NORMATIVA GEOTECNICA

Il presente elaborato prevede lo studio della fattibilità dell'intervento oggetto della progettazione, di cui si trova maggiore dettaglio delle opere da realizzare in relazione tecnica del progettista. In questa fase progettuale i dati per l'ottenimento del modello stratigrafico sono stati acquisiti in campagna e correlati con le informazioni già note dai sopralluoghi effettuati e dai dati pregressi, che individuano le caratteristiche geologiche nell'area di **Comune di Roccastrada - Loc. Ingegnere.**

Il territorio del Comune di Roccastrada **non rientra nelle zone da considerare a rischio sismico** ai sensi della Del. C.R. 29/12/1981 n. 791 e D.M. 19/3/1982. Esso è stato inserito, tuttavia, all'interno della Zona 3 della nuova zonazione sismica dei Comuni d'Italia, approvata dal Consiglio dei Ministri con Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003, così come modificato dal D.G.R.T. n. 431 del 19/06/2006 e dal D.M. 14/01/08 "Norme tecniche per le costruzioni" e successive modifiche ed integrazioni (caratterizzato, per la definizione dinamica, da un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $a_g < 0.15 \text{ g}$; e da una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di $a_g = 0.15 \text{ g}$).

Come espresso dalla normativa vigente, la presente **Relazione Geotecnica** affronta le seguenti argomentazioni: la descrizione delle opere e degli interventi; la descrizione dei problemi geotecnici e delle scelte tipologiche; la descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche, la caratterizzazione della pericolosità sismica di base del sito oggetto di studio; la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce e la definizione dei parametri geotecnici; la caratterizzazione della stabilità del sito (ove necessaria); la realizzazione di un numero adeguato di sezioni stratigrafiche; la realizzazione di modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi; l'elaborazione dei risultati delle analisi e loro commento; la realizzazione di planimetria con l'ubicazione delle indagini (sia quelle appositamente effettuate, sia quelle di carattere storico e di esperienza locale eventualmente disponibili, dalla documentazione sulle indagini in sito e in laboratorio, da un numero adeguato di sezioni stratigrafiche con indicazione dei profili delle grandezze misurate - resistenza alla punta di prove penetrometriche, altezze piezometriche, valori di propagazione delle onde sismiche, ecc.-); la redazione di opportuni piani di monitoraggio, se ritenuti necessari.

La Relazione Geotecnica contiene i principali risultati ottenuti dalle indagini e prove geotecniche, descrive la caratterizzazione e la modellazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera, e riassume i risultati delle analisi svolte per la verifica delle condizioni di sicurezza e la valutazione delle prestazioni nelle condizioni d'esercizio del sistema costruzione-terreno.

RAPPORTO TERRENO STRUTTURA

Dal punto di vista geotecnico per dare un'adeguata descrizione e classificazione alle formazioni affioranti nell'area di indagine, è stata effettuato e valutato numero 1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO con ESCAVATORE SG 1 e Sondaggio Geognostico a Carotaggio Continuo S1 con prelievo di campione Disturbato. L'indagine è stata effettuata nella immediata prossimità delle fondazioni oggetto di studi, inoltre dovrà essere realizzata anche una stesa sismica per la determinazione di Numero 2 Prove Sismiche. Una acquisizione di una prova sismodinamica **M.A.S.W.** e una prova sismica a rifrazione in Onde P con elaborazione **GRM**, entrambe hanno avuto lo scopo di verificare sia i parametri relativi alla categoria di sottosuolo che la sismostratigrafia dei primi orizzonti.

Le indagini sono state effettuate sull'impronta del fabbricato di progetto, si considerano comunque attendibili le considerazioni fatte nell'intorno considerando esperienze e i valori geotecnici ottenuti dalle esperienze pregresse nelle stesse condizioni geologiche.

RISPOSTA ELASTICA DEL SITO

Valori dei parametri caratteristici per il calcolo delle azioni sismiche

Sito in esame ED 50

latitudine: 42,924108
longitudine: 11,115534
Classe: 1
Vita nominale: 50

Siti di riferimento ED 50

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	ID: 23830	Lat: 42,9102	Lon: 11,1006	Distanza: 1968,124
Sito 2	ID: 23831	Lat: 42,9116	Lon: 11,1688	Distanza: 4559,179
Sito 3	ID: 23609	Lat: 42,9616	Lon: 11,1669	Distanza: 5900,078
Sito 4	ID: 23608	Lat: 42,9602	Lon: 11,0986	Distanza: 2014,500


Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Salvaguardia della vita (SLV):


Probabilità di superamento:	10	%	[anni]
Tr:		332	
ag:		0,101	g
Fo:		2,503	
Tc*:		0,270	[s]

Coefficienti sismici

 Tipo Muri di sostegno NTC 2008

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)	us (m)
1	0.1

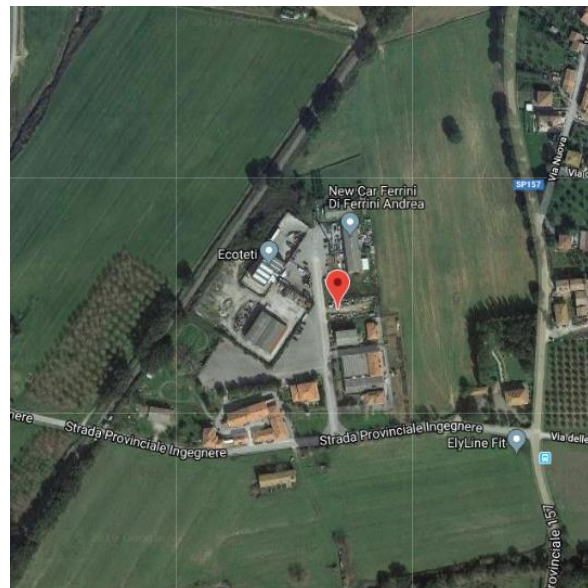
 Cat. Sottosuolo B
 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,50	1,49	1,43	1,42
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

 0.6

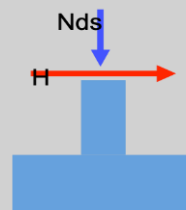
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.009	0.029	0.037
kv	0.004	0.004	0.014	0.019
Amax [m/s²]	0.439	0.470	1.183	1.524
Beta	0.180	0.180	0.240	0.240



$$A_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_t$$

$K_h = K_h K = \beta_s \cdot a_{max} / g$
Khk Modifica il parametro N_y
Effetto Cinematico (Terreno)

$k_{hi} \geq 0.2 \cdot a_g$
 $K_{hi} = k_{hi} = H/N$
Khi Modifica i parametri N_c, N_q, N_g
Effetto Inerziale (Struttura)



Il calcolo del valore di H (taglio sismico alla base della fondazione) si ottiene da:

$$H = N_d \cdot S_d(T_1)$$

ossia

$$H = N_d \cdot k_{hi}$$

Il valore di T_1 deve essere comunicato, insieme con quello di q , dallo strutturista.

In caso di difficoltà T_1 può essere stimato tramite la relazione: $T_1 = C_1 \cdot h^{3/4}$

PROGRAMMA DELLE INDAGINI E DELLE PROVE GEOTECNICHE

Per la determinazione del modello geologico e stratigrafico del sito nel quale sarà effettuato l'intervento in oggetto e per la determinazione delle principali caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione è stata effettuata l'interpretazione dei risultati delle seguenti indagini:

1) Saggio Geognostico (valori riferite alle indagini SG 1)

Saggio Geognostico eseguito con escavatore di 30 Quintali. Rifiuto strumentale incontrato a quota 1,80 m da piano di campagna, non rilevata la presenza di acqua.

Prof. Strato (m)	γ (t/m ³)	Φ (°)	c_u (kg/cm ²)	E_d (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di Taglio G (kg/cm ²)	Probabile litologia
0.6	1.45	22.17	0.47	43.03	0.0	0.34	436.32	TERRE LIMOSO SABBIOSE
1.3	1.67	27.64	1.8	82.37	208.65	0.3	1426.57	GHIAIE GROSSOLANE IN MATRICE SABBIOSA
1.8	1.68	27.94	1.88	84.53	213.9	0.3	1479.18	SABBIE COMPATTE

La quota della falda freatica stagionale nella zona è quindi da considerarsi a quota inferiore agli - 0,60 metri dal p.c.

Tabella dei valori Caratteristici del terreno.

	Litologia	Profondità	Angolo di resistenza al taglio	Coesione non drenata	Modulo di compressibilità edometrica	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo
		(m)	[°]	[kN/mq]	[kN/mq]	[kN/mc]	[kN/mc]
Strato 1	Limi Sabbiosi	1.8	22.54	40.59	7612.96	14.32	18.73
Strato 2	Ghiaie	2.4	28.67	--	16989.17	16.74	20.03

Parametri Geotecnici espressi

γ	peso di volume espresso in [kg/m ³]
Φ	angolo di resistenza al taglio espresso in [°] - Malcev
C_u	coesione non drenata espressa in [kg/cm ²] - U.S.D.M. S.M
E_d	modulo edometrico [kg/cm ²]
E	modulo elastico/modulo di Young espresso in [kg/cm ²] - Schmertmann sf
G	modulo di taglio - Ohsaki [kg/cm ²]

La caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e delle rocce deve essere effettuata attraverso la definizione dei **valori caratteristici** *fk* dei parametri geotecnici. Nell'ottica infatti di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, i valori dei parametri geotecnici devono essere interpretati in termini di valori caratteristici, ovverosia di valori ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limiti ultimi considerati per il progetto.

Il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili di una serie teoricamente illimitata di prove (necessità di avere un discreto numero di dati).

Nel nostro caso, avendo solamente un parametro per ogni unità, faremo corrispondere il valore caratteristico al valore medio.

Si osserva che dalla misurazione di falda effettuata il giorno della prova penetrometrica non si può avere una conoscenza storica tale da permettere la valutazione delle oscillazioni del livello di falda che invece si potrebbe ricavare con almeno 4 misurazioni annuali.

2) Prospezione sismica tramite profilo sismico a 24 canali, con tecnica M.A.S.W. di analisi spettrale multicanale delle onde superficiali:

Calcolo del valore medio Vs30 = 694,46 [m/s]	
Categoria di Sottosuolo - Classe B	
Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu 30 > 250 Kpa nei terreni a grana fina).	

3) La prova Sismica ha permesso anche l'individuazione dei sismostrati con tecnica GRM e da tale analisi si evince che:

Livelli individuati	Velocità Onde P	Profondità media da p.c.
Sismostrato 1	525,5 m/s	0 - 1,5 m
Interfaccia Rifratte 1	1033,0 m/s	> 1,50 m

La sismostratigrafia sottolinea la presenza litologica di tre livelli con spessori variabili con un livello profondo che declina lievemente verso Sud e che identifica probabilmente il bedrock del versante.

Con la presente si esprime parere geologico-geotecnico favorevole all'intervento in progetto. Dalle indagini effettuate si evince una possibile variabilità dei valori geotecnici, come risulta essere tipico delle litologie incontrate. Come succede solitamente in questa area le stratigrafie variano notevolmente per interdigitazione con altre matrici, pertanto sarà opportuno verificare in fase di scavo che le litologie riscontrate nelle indagini siano continuative per tutta la lunghezza dello scavo e di medesime caratteristiche geotecniche.

Geol. Fabrizio UCCELLETTI



ALLEGATI

PROVA SISMODINAMICE MASW
PROVA SISMOSTRATIGRAFICA GRM
PROVE GEOTECNICHE
ELABORATI DI CALCOLO DPSH
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO
TAVOLA CON MODELLO GEOTECNICO

Committente: ECOTETI Srl	Sondaggio: S1
Ubicazione: loc. L'Ingegnere, Comune di Roccastrada (GR)	Data: 30/03/2023
Coordinate WGS84: Latitudine 42.923148° - Longitudine 11.114807°	Quota: ~48 metri s.l.m.
Perforazione: Perforazione a carotaggio continuo $\phi=101$ mm	

Pagina 1/3

metri da p.c.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	Riv. ϕ mm	falda	Campioni/ prove in foro	Prel. % 0 ----- 100	Cass	Pocket (kg/cm ²)
		0.30	Materiale di riporto riciclato	$\phi=127$	assente	S1C1 (2.4 m)			
1		1.00	Limi argillosi debolmente sabbiosi marroni ocracei, plastici						
		1.40	Limi argillosi debolmente sabbiosi marroni ocracei, compatti						
		1.80	Limi con argilla grigio beige, molto compatti						
2									
3		3.80	Ghiaie sub-arrotondate poligeniche da minute a medie con abbondante matrice sabbiosa eterometrica, colore marrone con sfumature ocracee						
4		4.80	Ghiaie da media grossolane con presenza di ciottoli di dimensione superiore al diametro del carotiere, matrice sabbiosa eterometrica, colore grigio-biancastro						
5									
6			Ghiaie da minute a medie con abbondante matrice sabbiosa marrone con sfumature ocracee. Presenza di trovanti anagenitici provenienti dalla Formazione del Verrucano con caratteristico colore violaceo e di dimensione superiore al diametro del carotiere. Si rilevano inoltre interstrati dello spessore 10-15 cm di limi sabbioso argillosi marroni beige						
7									
8		8.0							
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

COROGRAFIA GENERALE INDAGINI GEOGNOSTICHE



COROGRAFIA DI DETTAGLIO INDAGINI GEOGNOSTICHE



Estratto da Google Earth (04/2022)

FOTO POSTAZIONE



FOTO CASSETTE CATALOGATRICI



Indagine Sismica MASW

Comune di Roccastrada – Loc. Ingegnere – Sticciano Scalo

Stendimento e campionamento

Data acquisizione: 3 Settembre 2019

Offset minimo: 4 mt.

Distanza intergeofonica: 1 mt.

Lunghezza stendimento: 24 mt.

Configurazione: 24 canali

Energizzazione con massa da 5 kg

Acquisizione delle tracce a 1000.0 msec. con periodo di campionamento di 1.0 msec.

Sistema digitale di acquisizione DoReMi (SARA electronic instruments s.r.l.) corredato da 24 geofoni verticali da 4,5 Hz, con dinamica di base di 96dB (16 bit).

Pag.
1

Elaborazione

Elaborazione per mezzo Software EasyMASW Geostru Software.

Pag.
3

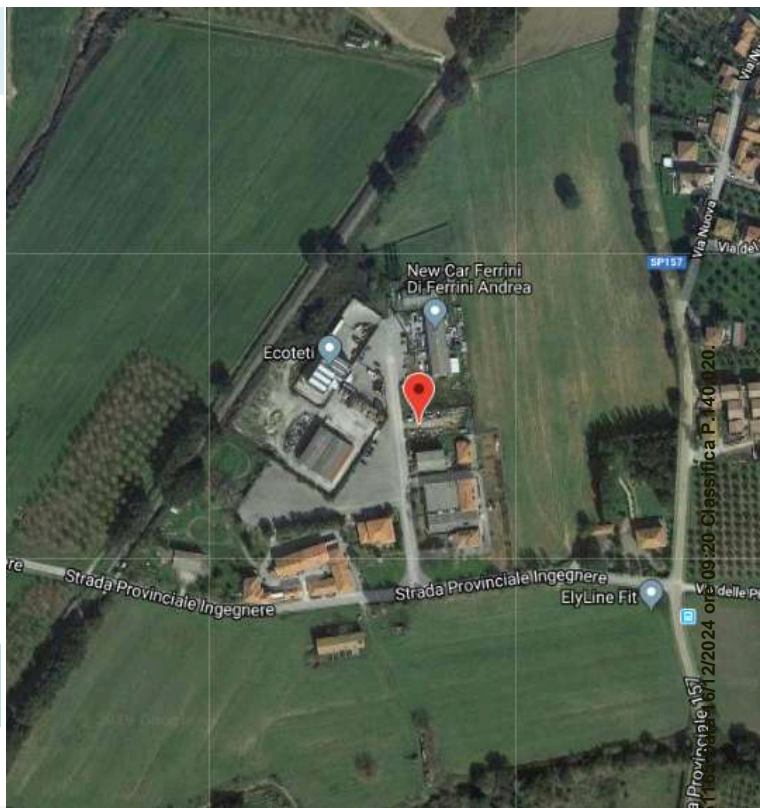
1. Analisi delle tracce
2. Analisi spettrale
3. Processo di inversione
4. Costruzione del modello sismostratigrafico del terreno (Profili di velocità)
5. Tabelle dei valori di inversione e valori geotecnici.
6. Calcolo del parametro Vs30

Classificazione Simica

La velocità delle onde S nei primi 30 metri risulta:

Pag.
5

Vs,Eq = 694.46 [m/s]
CATEGORIA SOTTOSUOLO B



Metodologia MASW

Le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo d'indagine MASW è basato su un'energizzazione meccanica (Sismica Attiva) del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale.

La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\Delta = v/f$) del segnale sismico si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo.

..Approfondimenti a pagina 6

Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Irlanda n° 4 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

UBICAZIONE

Fonte (Google Earth)

OIENTAZIONE STENDIMENTO
EST –OVEST

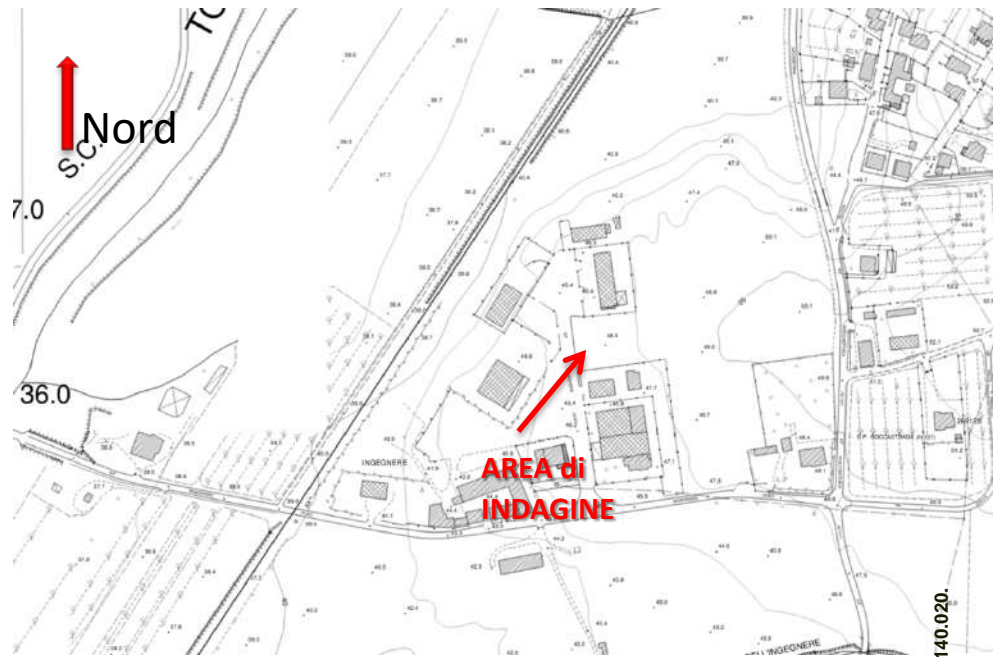


Foto locali dello stendimento



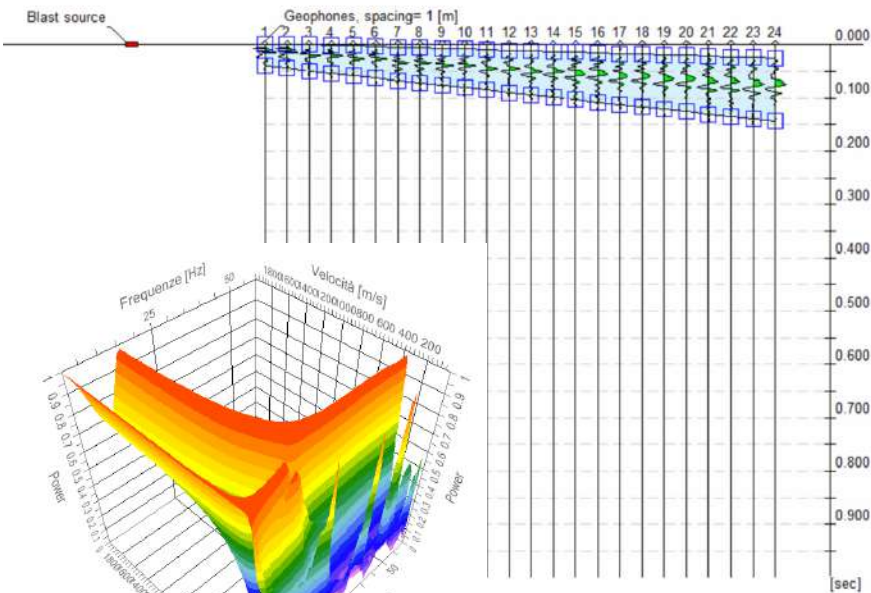
Software di elaborazione del segnale acquisito:

EasyMASW Geostru Software

FASI DI ELABORAZIONE

- Analisi delle tracce
- Analisi spettrale 2D e 3D

Tracce Acquisite



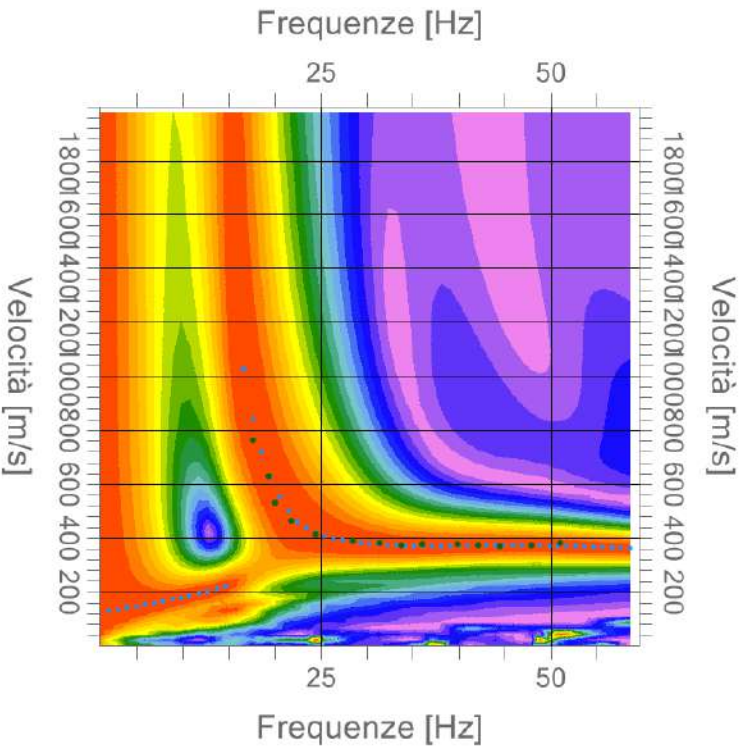
Software di acquisizione:
DoReMi Software v. 1.1.36

Caratteristiche tecniche del
sismografo

Caratteristiche tecniche	
Classe strumentale:	sismografo multicanale per geofisica
Topologia:	rete differenziale RS485 half-duplex multipoint
Lunghezza max rete:	1200 metri senza ripetitori (virtualmente illimitata con ripetitori)
N. max canali per tratta:	255
Dimensioni elemento:	80x55x18 mm
Peso:	250 g (un elemento con lunghezza cavo 5 metri)
Cavo:	4 fili, 2 coppie, robotico resistente a torsioni, flessio-torsioni, abrasioni ed agenti chimici
Campionamento	
Memoria:	64 kBytes (>30000 campioni)
Frequenze selezionabili:	da 200 a 20000 Hz (da 5 a 0.05 ms)
Convertitore:	tipo SAR a 16 bit (96 dB)
Amplificatore:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto, 200Hz passa basso
Rileazione modo comune:	>80dB
Diagnostica (crosstalk):	non valutabile per architettura ad elementi singoli a trasmissione digitale, virtualmente nulla.
Dinamica del sistema	
Risoluzione:	7.600 µV @ 10x; 0.076 µV @ 1000x
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
S/N ratio fra 0.5 e 30Hz:	>90dB (RMS)
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione:	0.0000002V p-p @ 1000x 4000Hz (RMS)
Dinamica totale teorica:	155dB (A/D + PGA)
Alimentazione	
Tensione di alimentazione:	10-15Vdc
Consumo:	Unità di testa: 20mA Per Canale: 40mA Consumo totale 12 canali: 510mA



Spettro velocità di fase



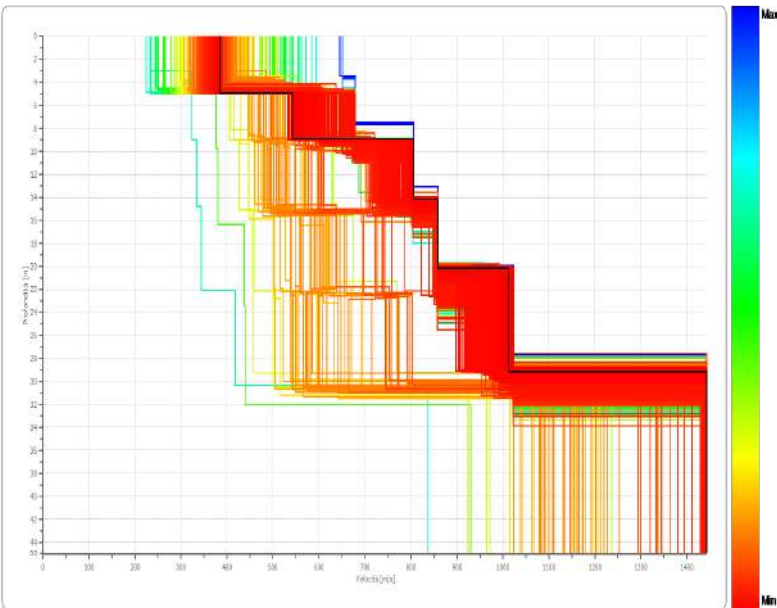
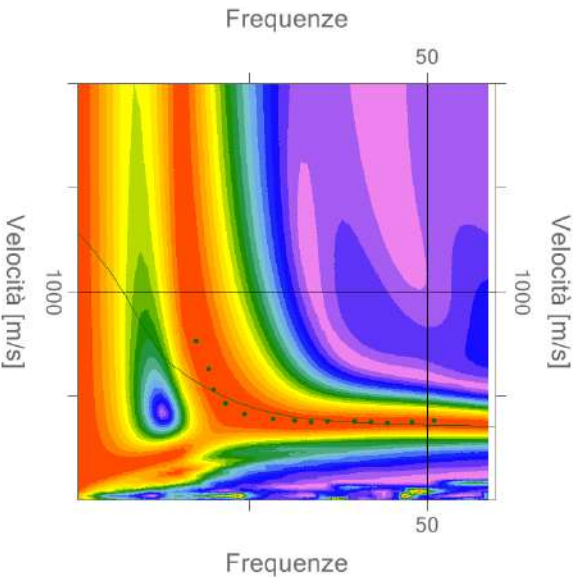
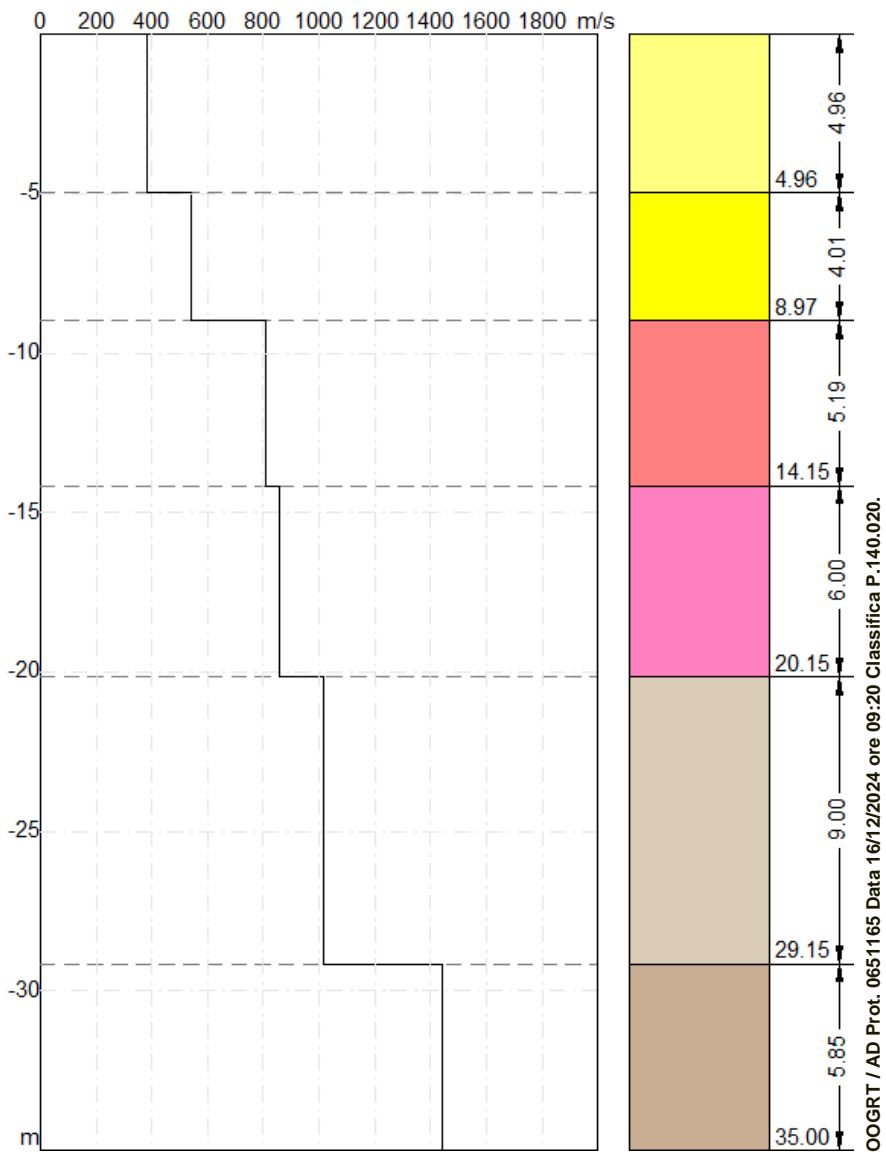
Software di elaborazione del segnale acquisito:

EasyMASW Geostru Software

FASI DI ELABORAZIONE

- Analisi delle tracce
- Analisi spettrale 2D e 3D
- Processo di inversione
- Costruzione del modello sismostratigrafico del terreno (profili di velocità)

Inversione e modello sismodinamico



Tavella dei valori di inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	4.96	4.96	384.09	627.21	1800.00	0.20	265.54	708.10	354.05	637.29
2	8.97	4.01	542.22	885.44	1800.00	0.20	529.20	1411.19	705.60	1270.07
3	14.15	5.19	806.29	1316.67	1800.00	0.20	1170.19	3120.51	1560.25	2808.46
4	20.15	6.00	858.02	1401.14	1800.00	0.20	1325.16	3533.76	1766.88	3180.38
5	29.15	9.00	1013.19	1654.54	1800.00	0.20	1847.81	4927.49	2463.74	4434.74
6	oo	oo	1443.50	2357.22	1800.00	0.20	3750.64	10001.70	5000.85	9001.53

Software di elaborazione del segnale acquisito:

EasyMASW Geostru Software

FASI DI ELABORAZIONE

- Analisi delle tracce
- Analisi spettrale 2D e 3D
- Processo di inversione
- Costruzione del modello sismostratigrafico del terreno (profili di velocità)
- Tabelle dei valori di inversione e geotecnici
- Calcolo del parametro Vs30

Uccelletti Fabrizio Geologo

V.Irlanda n° 4 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Calcolo del parametro Vs30

Il valore Vs30 determinato per le situazioni locali di acquisizione e in funzione delle scelte di elaborazione risulta essere:

Vs,Eq = 694,46 [m/s]
CATEGORIA SOTTOSUOLO B

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

Cat. SOTTOSUOLO A. Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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

Cat. SOTTOSUOLO C. Deposit

Cat. SOTTOSUOLO D. Deposit

Cat. SOTTOSUOLO E. Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Le sismostratigrafie si riferiscono ad un modello sintetico che si ritiene adatto al grafico di dispersione e alle condizioni di insieme di natura geologica e geomorfologica. Per cui si ritiene inadatto adeguare questa valutazione sismostratigrafica ad aree diverse da quella indagata con questa indagine.

STUDIO SISMICO DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE ANALISI M.A.S.W E CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Premeessa

La tecnica d'indagine proposta per questo studio è l'analisi M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves): tramite questa metodologia è consentita la determinazione del parametro Vs30 e di classificare il substrato di fondazione sulla base della normativa vigente in materia.

Infatti il presente studio è stato condotto in conformità al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", in riferimento a quanto contenuto nei paragrafi 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" e 7.11.3 "Risposta sismica e stabilità del sito".

Lo studio prevede di acquisire informazioni di dettaglio sulla conformazione sismostratigrafica del sottosuolo nonché sulle sue caratteristiche sismodinamiche. A questo scopo sono state rilevate sezioni sismiche lungo lo stendimento geofonico G1-G24.

Le indagini, basate sulla propagazione sub-superficiale di onde elastiche, sono state condotte applicando tecniche di prospezione non invasive. L'energizzazione è prodotta mediante meccanismo a massa battente e acquisita tramite geofoni e sismografo digitale.

La geofisica applicata, mediante impiego di metodologie non invasive consente di definire non solo la ricostruzione stratigrafica dei primi metri di copertura, ma anche alcuni parametri che caratterizzano dal punto di vista sismodinamico il terreno di fondazione.

Le onde del sottosuolo

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche altre onde che possiedono comportamenti diversi per muoversi nel mezzo.

Nelle registrazioni ottenute in campagna vengono acquisite incondizionatamente tutte le onde che percorrono il sottosuolo, siano esse generate da disturbi o da energizzazioni volontarie; fra queste, alcune delle onde presenti sono:

1. **Le onde di corpo:** Le onde di corpo (riflesse e rifratte) sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale; le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).
2. **Le onde superficiali non piane:** le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.
3. **Le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali:** Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento.
4. **Il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane:** Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\lambda = v/f$) del segnale sismico si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo. Le componenti a frequenza minore (lunghezza d'onda maggiore) penetrano più in profondità e sono quindi influenzate dagli strati più profondi rispetto a quelle a frequenza maggiore (lunghezza d'onda minore) che risentono delle proprietà fisiche dei livelli superficiali, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Una qualsiasi struttura vibra secondo modi diversi che dipendono dalle dimensioni e dalle caratteristiche del materiale; nel nostro caso ricordiamo come la velocità di propagazione dei diversi modi incrementa all'incremento del modo (il modo fondamentale è il più lento e i superiori via via più veloci), e che la dominanza di un modo rispetto ad un altro dipende dalle caratteristiche del terreno. Nel passato le metodologie di analisi si basavano su alcune assunzioni tra le quali la più restrittiva era che il modo fondamentale è il dominante; questo non è vero (e le nuove metodologie non richiedono più tale semplificazione) ma la presenza di modi superiori (unitamente alla loro corretta identificazione) offre l'opportunità di vincolare meglio il modello del terreno: si noti in particolare come i modi superiori siano particolarmente sensibili agli strati più profondi del terreno. Esistono diversi articoli che pongono in evidenza come i modi superiori risultino utili in questo senso (e aiutino a meglio identificare la Vs in particolare degli strati più profondi).

Tecnica M.A.S.W.

I ricercatori hanno perfezionato tecniche non invasive, veloci e pratiche, quindi più economiche, per effettuare caratterizzazioni stratigrafiche del terreno. Il modo più comodo e conosciuto per procedere è quello di andare ad energizzare il mezzo da investigare ed, osservandone il comportamento sismico e calcolare alcune sue caratteristiche; L'acquisizione viene eseguita mediante geofoni verticali a 4,5 Hz, mentre l'energizzazione viene eseguita colpendo con una mazza di 5-8 kg un piattello di alluminio ben saldo alla superficie di campagna. Osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di un'energizzazione si può notare che la quasi totalità dell'energia si propaga tramite onde di volume. Infatti recenti studi hanno consentito di creare un modello matematico anche per trattare le onde superficiali, cercando di godere del vantaggio della elevata energia associata a questo tipo di propagazione e sfruttando il forte legame tra le onde superficiali e le onde S.

L'analisi delle onde S mediante tecnica M.A.S.W. viene eseguita mediante la trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale e permette la trattazione spettrale del sismogramma, questo è chiamato dominio *trasformato*, quindi rimane semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, e altre onde.. che risultano disturbo nell'interpretazione.

M.A.S.W. è l'acronimo di Multichannel Analysis of Surface Waves (Analisi Multicanale di Onde di Superficie): ciò indica che il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie. Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie (cioè il fatto che frequenze diverse, cioè lunghezze d'onda diverse, viaggiano a velocità diversa). Il metodo è piuttosto semplice, le varie frequenze del segnale viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

Più specificatamente, le lunghezze d'onda più ampie corrispondono alle frequenze più basse, sono influenzate dagli strati più profondi, mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche degli strati più superficiali. La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza $\lambda = v/f$) del segnale sismico si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo.

Le prove M.A.S.W. servono per studiare la variazione di velocità delle onde a diverse frequenze; questo processo è chiamato "*dispersione*" ed è imputabile prevalentemente alla stratificazione delle velocità delle onde S, quindi da tali assunzioni possiamo ricavare il parametro Vs30 (richiesto dalla nuova normativa sismica) in maniera semplice, economica e decisamente affidabile.

Tramite questa prova vengono misurate le velocità sismiche delle onde superficiali a diverse frequenze, i cui valori sono ricavabili da una procedura di inversione numerica del dato osservato nello spettro.

L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda; tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

La tecnica M.A.S.W risulta, quindi, particolarmente adatta per la determinazione del parametro Vs30 in quanto questo è una media pesata delle velocità Vs dei primi 30 metri sotto il piano di campagna.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. L'intero processo comprende tre passi successivi:

- 1) L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll): Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore.
- 2) Estrazione della curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza): Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.
- 3) Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs: Profilo 1-D che descrive la variazione di Vs con la profondità. L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

L'elaborazione dei dati acquisiti

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale; una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza; la velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. È anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma: in questo caso M.A.S.W. permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N (Signal/Noise - un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione). Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente; la configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale: grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La questione delle V_s è venuta alla ribalta in relazione alle novità normative in materia antisismica: la conoscenza del valore della V_s nella parte più superficiale è infatti utile a stimare l'effetto di sito (l'amplificazione litologica). In realtà la V_s ha notevole valore anche dal punto di vista dell'ingegneria civile (ricordiamo ad esempio che il modulo di taglio è dato dal prodotto della densità per il quadrato della V_s). In generale la conoscenza di V_s e V_p fornisce un valore aggiunto notevole in quanto consente una serie di considerazioni (geomeccaniche ambientali e litologiche) impossibili da svolgere avendo a disposizione solo l'una o l'altra. Si ricordi come la V_p sia fortemente influenzata dalla presenza di acqua (le rifrazioni in V_p fatte in pianura alluvionale forniscono V_p attorno a 1500 m/s a pochissimi metri di profondità proprio a causa della "tavola d'acqua") mentre la V_s ne sia solo modestamente influenzata.

Determinazione del parametro V_{s30}

Una volta ricavata la zonazione profundimetrica della velocità delle onde S lungo la verticale è possibile ricavare il valore del V_{s30} come media pesata dei valori di velocità nei primi 30 metri sotto la superficie del terreno.

Parametri tecnici operativi dell'indagine sismica

Strumentazione impiegata per l'acquisizione dei dati nell'analisi M.A.S.W.

- Apparato di energizzazione: L'energizzazione del terreno per l'acquisizione delle onde superficiali si è ottenuta percuotendo un piattello di alluminio con una mazza da 5 kg.
- Apparato di acquisizione: I dati sono stati acquisiti mediante sismografo "Do.Re.Mi. SARA Electronic Instruments s.r.l." a 24 canali.
- Apparato accelerometrico: L'apparato accelerometrico (i geofoni) utilizzato per questo studio è costituito in un set di 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 4,5 Hz +/-15% Moving Mass da 23.6 grammi "Geospace Technology – Huston – Texas – USA"
- Apparato trigger: La registrazione è stata attivata nel momento dell'impatto tra la mazza ed il piattello da un trigger inerziale montato sul manico del martello.

Software impiegato per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati sismici

- 1) Software di acquisizione: I dati sono stati acquisiti e pre-trattati sul campo mediante il software "DoReMi V.1.1.36", prodotto e distribuito dalla Ditta "SARA Electronic Instruments s.r.l." di Perugia.
- 2) Software applicativo per l'elaborazione dei dati: I dati sono stati elaborati mediante il software: "EasyMASW" prodotto dalla ditta "Geostru Software"

Rifrazione Sismica GRM

Comune di Roccastrada – Loc. Ingegnere – Sticciano Scalo

Campionamento e configurazione:

Shot interni allo stendimento n. 2

Shot esterni allo stendimento n. 1

Configurazione: 12 canali

Durata del campionamento 0,25 sec.

Frequenza di campionamento 5000 Hz.

Periodo di campionamento di 200 μ sec.

Sistema digitale di acquisizione DoReMi
(SARA electronic instruments s.r.l.) corredato
da 24 geofoni verticali da 4,5 Hz, con
dinamica di base di 96dB (16 bit).

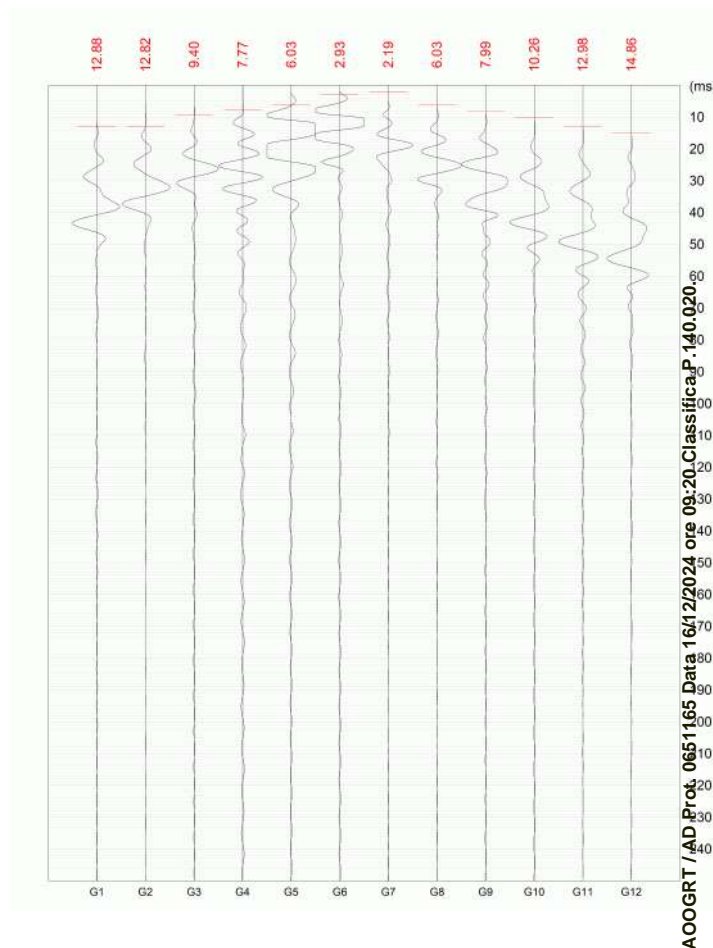
Elaborazione

Elaborazione Software

InterSism 2.1 Geo&Soft International
Fasi di elaborazione

Pag.
3

1. Definizione del progetto
2. Ricerca dei primi arrivi
3. Tabella dei primi arrivi
4. Calcolo delle dromocrone
5. Calcolo delle profondità
6. Produzione degli elaborati



Sintesi del metodo della rifrazione sismica

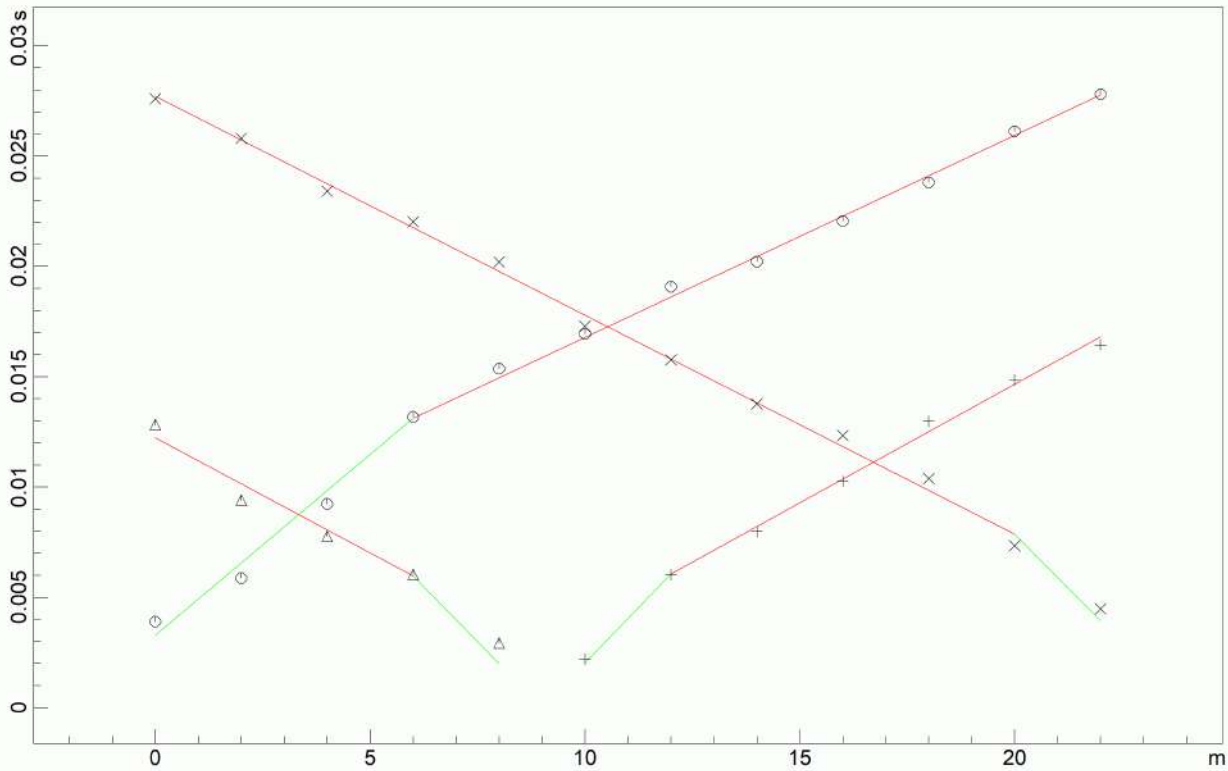
Il metodo della sismica a rifrazione è una delle indagini geofisiche più utilizzate dall'ingegneria civile per la conoscenza del sottosuolo. Esso è basato sul tempo necessario perché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte.

Pag.
5

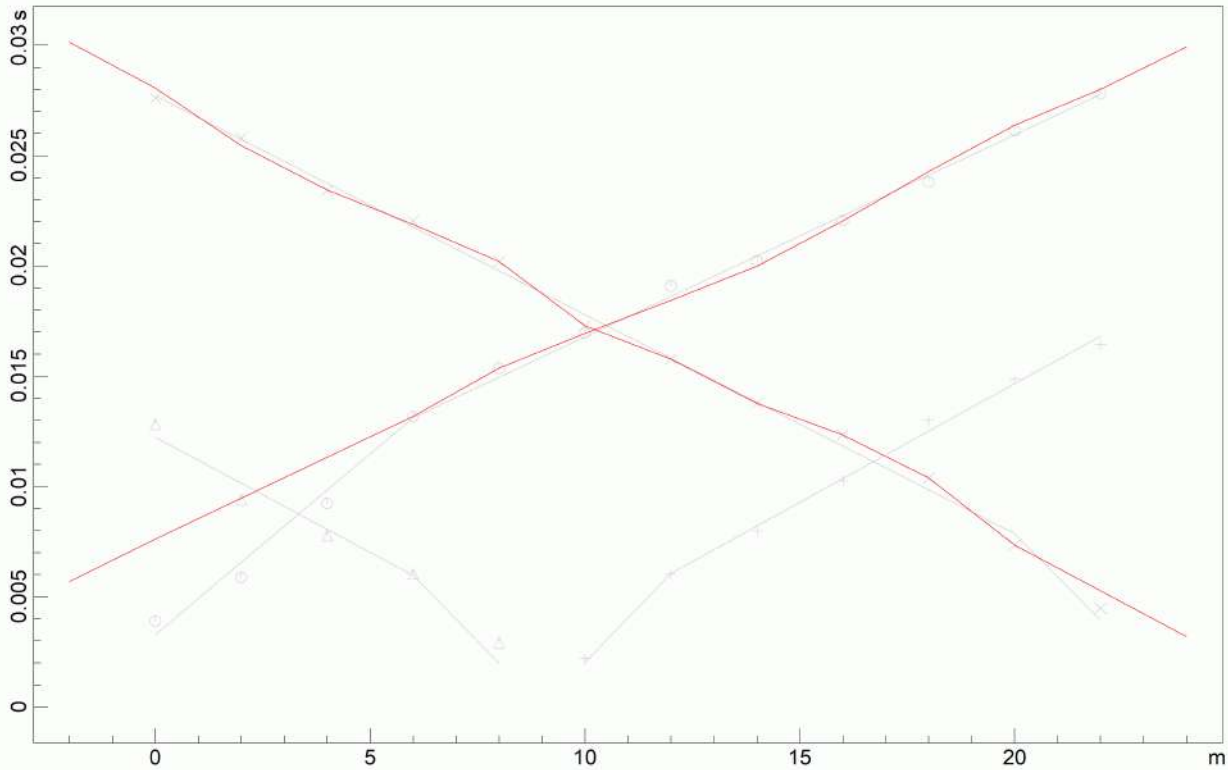
Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Irlanda n° 4 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

DROMOCRONE ORIGINALI



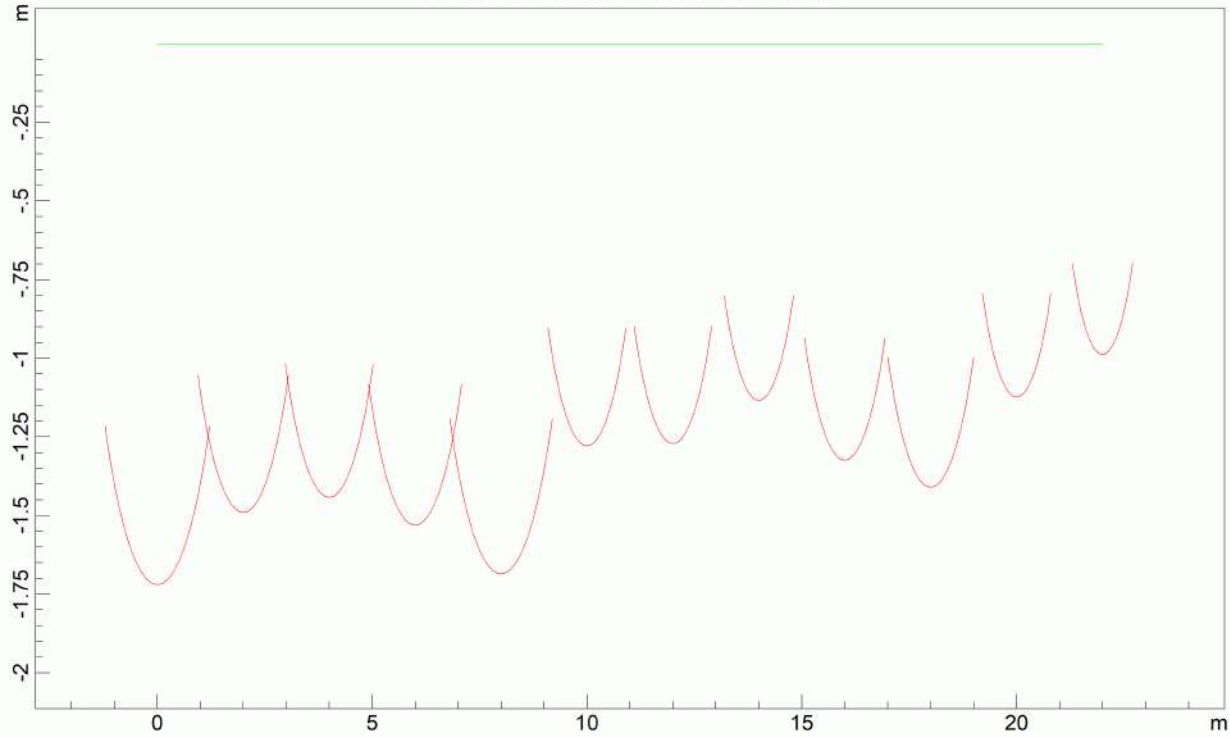
DROMOCRONE TRASLATE



Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Irlanda n° 4 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

PROFONDITA' RIFRATTORI



SEZIONE VERTICALE



SISMICA A RIFRAZIONE

Cenni teorici

I **fronti d'onda** possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce però che "in ogni istante, qualsiasi punto di un fronte d'onda di forma qualsiasi può essere considerato come sorgente puntiforme di onde circolari (oppure sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)". La propagazione di onde può quindi essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che interferendo fra loro danno luogo a un'onda risultante osservabile macroscopicamente.

Le semirette normali ai fronti d'onda sono chiamate "raggi sismici" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica. Per l'analisi dei dati ottenuti tramite la sismica a rifrazione, è usuale considerare sia le immagini delle onde sismiche sia i percorsi dei raggi sismici. Questi ultimi possono sostituire i fronti d'onda con buona approssimazione, permettendo di trattare soltanto i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio quali ampiezza, frequenza e fase. Quando un raggio incontra un'eterogeneità sul percorso, per esempio un contatto litologico con un altro materiale, il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di contatto tra i due materiali sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "leggi di SNELL".

Il comportamento sismico delle onde P

Le onde P sono anche chiamate Onde Primarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con maggiore velocità rispetto alle altre onde. Nelle onde P, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello stesso senso di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso radiale. Quindi, il materiale si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda. Le onde P viaggiano attraverso il terreno in modo analogo a quello delle onde sonore attraverso l'aria. La velocità con la quale le onde P si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma".

Le leggi di Snell affermano che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre valgono le seguenti relazioni tra gli angoli:

per la riflessione: $\alpha = \gamma$

per la rifrazione: $V1 \cdot \sin \alpha = V2 \cdot \sin \beta$

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (α_c) particolarmente significativo per la sismologia di rifrazione. Si definisce infatti angolo critico l'angolo d'incidenza che rende $\beta=90^\circ$.

Se l'angolo di incidenza è uguale a 90° gradi l'onda rifratta, secondo la *teoria di Huygen*, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato. Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.

Se l'angolo di incidenza è uguale a 90° gradi l'onda rifratta, secondo la *teoria di Huygen*, si propaga lungo il contorno dello strato e funge da fonte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un angolo pari all'angolo critico. E' possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore della velocità del primo strato/velocità del secondo strato. Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale senza propagazione dell'onda nel secondo strato.

Applicazioni della sismica a rifrazione

Le indagini di sismica a rifrazione vengono normalmente impiegate per le seguenti problematiche:

- Mappatura delle zone formate da materiale disgregato
- Ricerca della profondità della falda freatica
- Determinazione della resistenza allo scavo
- Mappatura della permeabilità di strati ghiaiosi
- Mappatura degli strati composti da materiale sciolto
- Localizzazione delle zone di frattura
- Mappatura del substrato roccioso
- Studi di carattere geotecnico (individuazione delle proprietà elastiche dei mezzi, rilevati stradali, ponti, gallerie, dighe e tracciati ferroviari)
- Studi per la pianificazione del territorio (microzonazione sismica)
- Studi geomorfologici (individuazione e controllo della stabilità dei versanti)
- Valutazione dello spessore dei corpi di frana
- Modellizzazione bidimensionale e tridimensionale del sottosuolo

Problemi e limitazioni della sismica a rifrazione

- Le velocità sismiche dei terreni interessati dall'indagine devono crescere con la profondità
- Gli strati debbono possedere uno spessore sufficiente per essere rilevati
- Rilievi eseguiti su terreni di riporto o in aree adibite a discariche e in presenza di forte rumore antropico conducono spesso a risultati non affidabili
- Fratture singole e strette spesso non possono essere identificate.

Interpretazione dei risultati

Gli strumenti in grado di osservare movimenti nel terreno sono detti sismometri o geofoni. Essi sono necessariamente posizionati sulla superficie del terreno. Attraverso questa strumentazione si ottengono registrazioni di sismogrammi dei diversi geofoni, posti a diverse distanze dalla sorgente: questi possono essere stampati in funzione del tempo e della distanza, in quelle che vengono definite "registrazioni di scoppio" (shot records). La variazione Tempo / Distanza è detta "scostamento" (moveout).

Arrivi con ampio scostamento sono fortemente inclinati nella registrazione di scoppio e viceversa; dalle registrazioni di scoppio è quindi possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, riflesse, rifratte).

A piccole distanze il primo arrivo è quasi sempre corrispondente alle onde dirette: questo arrivo ha grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze. A maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello dell'onda rifratta.

Questo input meccanico sul geofono (*arrivo*) è caratterizzato da una piccola ampiezza d'onda e da scostamento costante ma minore di quello dell'onda diretta. L'ultimo arrivo ad ogni geofono è quello dell'onda riflessa: il suo scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica. Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si definisce "curva di propagazione" o "dromocrona" ("travel time curve"). Definirne l'andamento è compito primario nell'interpretazione di sismica a rifrazione.

Per il metodo a rifrazione, è quindi necessario identificare il tempo di arrivo della prima perturbazione in ogni geofono ("first break picking"). Questa distinzione è sempre ben visibile sui geofoni più vicini alla sorgente mentre sui geofoni lontani dagli *shot* percepiscono meno intensità della perturbazione, quindi il rapporto tra il segnale generato e il rumore di fondo si fa meno evidente. Da questo nasce la necessità di amplificare progressivamente il segnale (*guadagno*) sui geofoni più lontani dalla fonte di energizzazione.

In altri casi è necessario aumentare il numero delle registrazioni per ogni shot, sommando i singoli risultati. Da questa pratica si ottengono sismogrammi più "*puliti*", dove il rapporto segnale rumore risulta essere di molto migliore rispetto ad un singola registrazione per shot. Di buona norma non vengono mai effettuate meno di 2 registrazioni (*funzione di stacking*) per assicurare una buona visione dei primi arrivi.

E' quindi importante osservare che la scelta dei primi arrivi deve essere considerata già come parte dell'interpretazione dei dati più che della raccolta; l'operatore dovrà perciò aver cura di verificare direttamente sul sito che il rapporto segnale/rumore sia accettabile, ed eventualmente ripetere l'acquisizione.

Prospezione di sismica a rifrazione con il metodo G.R.M. (reciproco generalizzato)

Sviluppati in array con n°24 geofoni ad asse verticale per l'individuazione delle principali unità geofisiche tramite la stima delle velocità di propagazione delle onde longitudinali P (Vp)

Nel presente lavoro è stata utilizzata la tecnica sismica a rifrazione che rappresenta un metodo d'indagine finalizzato alla costruzione di una sezione sismo-stratigrafica sulla base dell'individuazione delle variazioni di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il metodo prevede la disposizione, lungo uno stendimento rettilineo, dei geofoni che registrano le perturbazioni indotte nel terreno da una sorgente energizzante artificiale nota. Leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni per ogni energizzazione effettuata, si costruiscono le dromocrone, le quali permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e quelle areali dei diversi sismo-strati.

Mentre la velocità delle onde P è dovuta alla resistenza alla compressione, la velocità delle onde di taglio dipende dalla resistenza al taglio del materiale. Conoscendo quindi le velocità delle onde P, delle onde S e la densità del terreno è possibile determinare i moduli elastici dinamici:

Modulo di deformabilità (E): è detto anche modulo di Young o di elasticità.

Esprime il rapporto tra uno sforzo e la corrispondente deformazione ϵ che si genera lungo la direzione di applicazione dello sforzo medesimo:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Modulo di taglio (G) o modulo di rigidità:

Esprime il rapporto tra lo sforzo di taglio esercitato parallelamente alla superficie di taglio e la deformazione corrispondente

$$G = \frac{\tau}{\alpha}$$

Coefficiente di Poisson ν :

Esprime il rapporto tra la deformazione ϵ perpendicolare alla direzione di applicazione dello sforzo e quella longitudinale ϵ

$$\nu = \frac{\epsilon'}{\epsilon}$$

Modulo di volume K:

Esprime il rapporto tra una pressione di tipo idrostatico e la deformazione subita dal materiale. E' detto anche modulo di incomprimibilità o Bulk modulus.

Nell'ipotesi di un mezzo omogeneo, isotropo e perfettamente elastico esistono le seguenti relazioni fra i quattro moduli:

$$\begin{aligned} E &= 2G(1 + \nu) = 3K(1 - 2\nu) = \frac{9KG}{3K + G} \\ G &= \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{3EK}{9K - E} = \frac{3K(1 - 2\nu)}{2(1 + \nu)} \\ K &= \frac{E}{3(1 - 2\nu)} = \frac{2EG}{3(3G - E)} = \frac{2G(1 + \nu)}{3(1 - 2\nu)} \\ \nu &= \frac{E - 2G}{2G} = \frac{3K - E}{6K} = \frac{3K - 2G}{2(3K + G)} \end{aligned}$$

Metodo sismico a rifrazione - G.R.M.

Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici.

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della **bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico**. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o bi-rifratte (head wave). Le onde analizzate sono quelle bi-rifratte cioè quelle che giungono alla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo d'incidenza. I contrasti sismici individuati nel sottosuolo possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali e idrogeologiche.

Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-fratta avrà percorso sufficiente distanza alla velocità V_2 , essa arriverà prima della diretta (come riportato nella figura seguente).

Se, per ogni distanza di ciascun ricevitore, riportiamo in un semplice grafico x-y il tempo di arrivo del primo impulso letto sui sismogrammi i punti si dispongono in una serie di allineamenti, di cui il primo passante per l'origine: ciascuna linea è detta dromocrona ed è rappresentata dalla velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo posto al di sopra di un riflettore (una superficie di separazione più o meno netta tra due materiali a comportamento elastico diverso).

L'intersezione tra due dromocrone è detto punto di ginocchio e rappresenta il punto in cui arrivano contemporaneamente le onde rifratte da due rifrattori adiacenti o, se consideriamo le prime due dromocrone, le onde dirette e le onde rifratte dal primo riflettore. In un'indagine sismica a rifrazione sarà possibile individuare un numero di punti di ginocchio pari al numero di rifrattori investigati. Pertanto più è profondo il riflettore più è distante dalla sorgente il rispettivo punto di ginocchio: da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una certa distanza proporzionale alla profondità del riflettore e che quindi la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento dei ricevitori.

In presenza di **morfologie irregolari** degli orizzonti fisici è opportuno utilizzare il metodo reciproco generalizzato (G.R.M. di R. Palmer) che consente di ricostruire rifrattori ondulati a qualunque profondità, utilizzando sempre dei profili coniugati.

Gli **aspetti di base dell'elaborazione** sono:

- il calcolo della funzione analisi-velocità, dalla quale si ottiene la velocità del riflettore;
- il calcolo della funzione tempo-profondità, che è una misura della profondità del riflettore, espressa in unità di tempo.

L'analisi si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY che entra nel calcolo delle velocità di propagazione delle onde nel riflettore e della sezione tempo-profondità. Il problema consiste nel calcolare con precisione la distanza XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergendo quasi dallo stesso punto del riflettore. Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del riflettore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.

Il metodo della sismica a rifrazione è una delle indagini geofisiche più utilizzate dall'ingegneria civile per la conoscenza del sottosuolo. Esso è basato sul tempo necessario perché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte.

Le dromocrone sono curve che tracciamo per congiungere tra loro tutti gli istanti d'arrivo delle perturbazioni che diamo al terreno.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di geofoni (generalmente 12 o 24) che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento e da un sismografo che registra l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. La registrazione, sia del momento dell'esplosione che del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su di un unico diagramma (sismogramma). La sorgente di energia può essere costituita da cariche esplosive, cannoncino sismico, mazza battente, etc.

Software di elaborazione dati

InterSism della **Geo&Soft International**

Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Irlanda n° 4 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

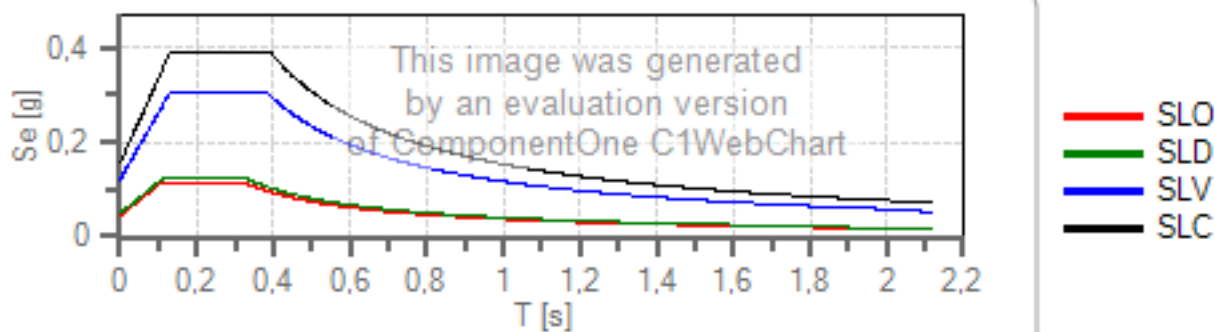
Spettri di risposta

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

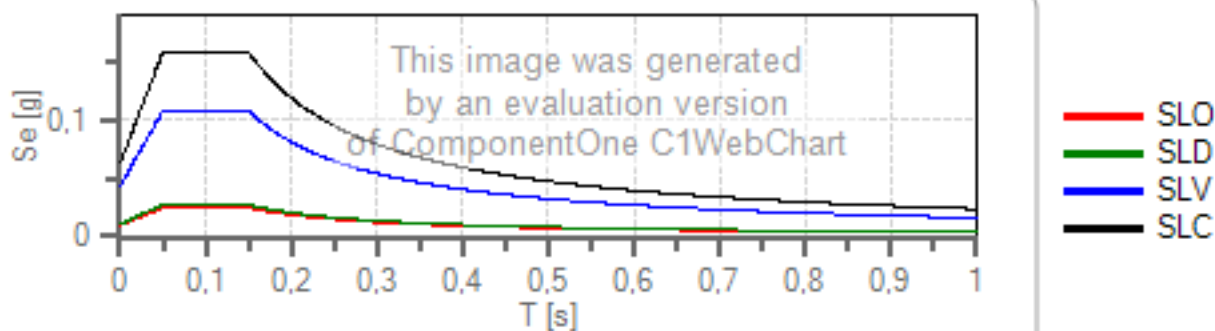
Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,7	0,037	2,552	0,216	1,200	1,500	1,000	1,200	1,000	0,108	0,323	1,749
SLD	0,7	0,040	2,541	0,222	1,200	1,490	1,000	1,200	1,000	0,110	0,331	1,760
SLV	0,7	0,101	2,503	0,270	1,200	1,430	1,000	1,200	1,000	0,129	0,386	2,002
SLC	0,7	0,129	2,508	0,276	1,200	1,420	1,000	1,200	1,000	0,131	0,392	2,118

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

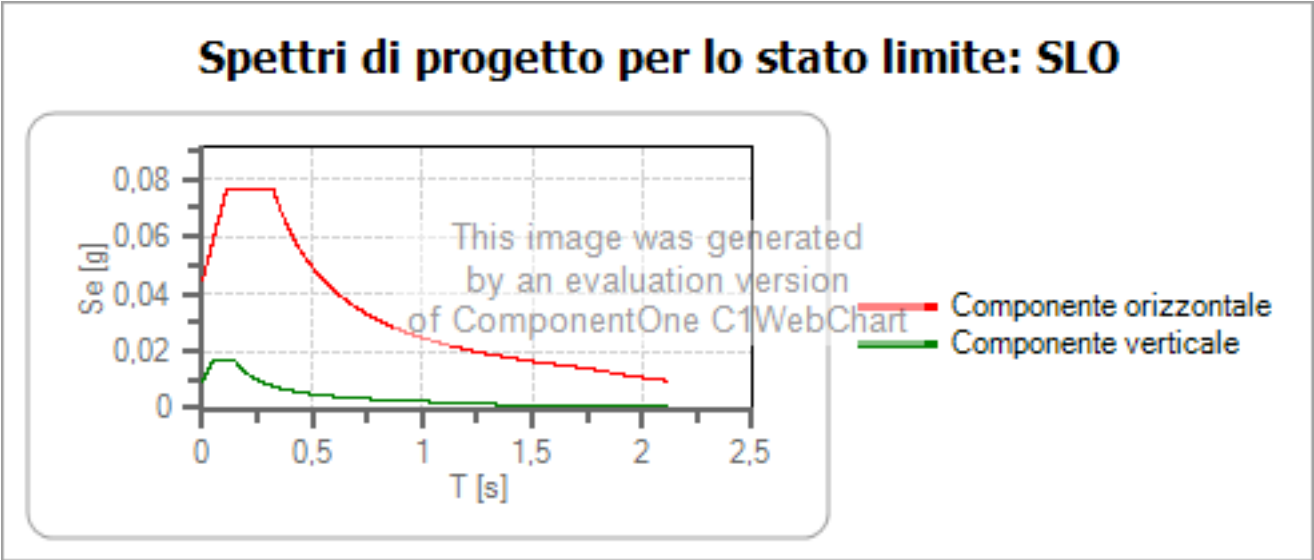


	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	0,7	0,037	2,552	0,216	1,000	1,500	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	0,7	0,040	2,541	0,222	1,000	1,490	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	0,7	0,101	2,503	0,270	1,000	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	0,7	0,129	2,508	0,276	1,000	1,420	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5



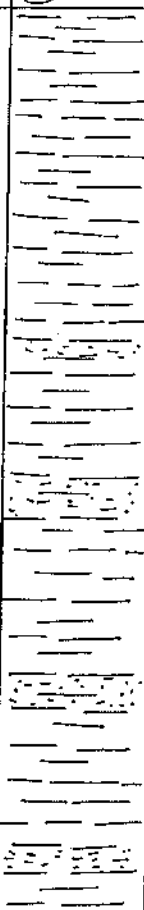
per lo spettro orizzontale = 0,667
Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5
per lo spettro verticale = 0,667
Stato limite: SLO

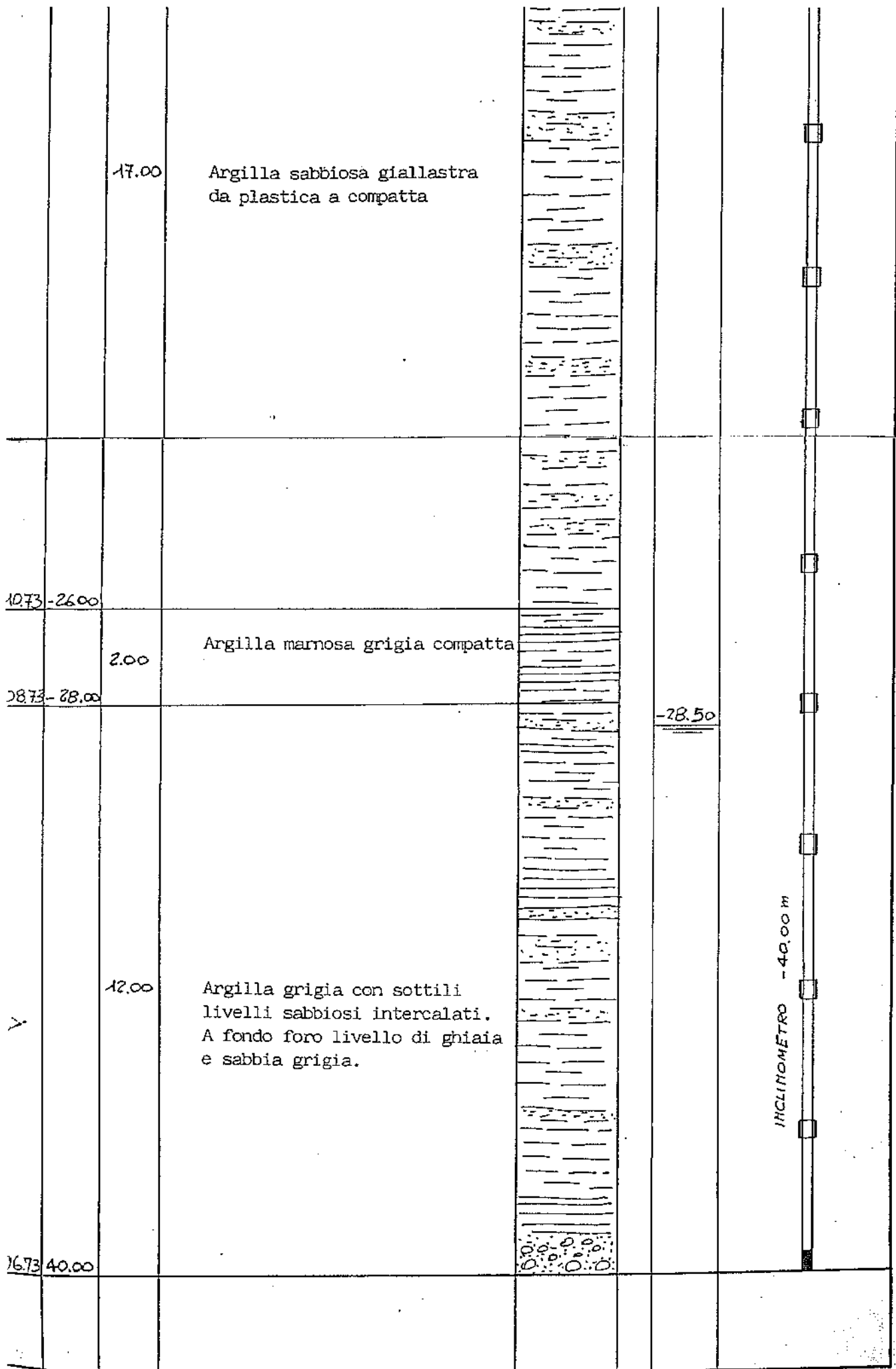


	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO orizzontale	0,7	0,037	2,552	0,216	1,200	1,500	1,000	1,200	1,500	0,108	0,323	1,749
SLO verticale	0,7	0,037	2,552	0,216	1,200	1,500	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

EUROSOL
opere specializzate
s.r.l.

COMMITTENTE: GENIO CIVILE DI GROSSETO
LOCALITA': ROCCASTRADA - LOC. CHIUSONE
SONDAGGIO **SEi3** iniziato il . 9/4/85 ... ultimato il . 10/4/85 ...

Quote assolute	Prof. in mt.	Spessore degli strati	Descrizione della natura del terreno	Colonna stratigrafica	Campioni indisturbati	H ₂ O	Note
436.73	0.00						
		9.00	Trovanti in matrice argillosa bruna				
427.73	-9.00					-8.50	
		17.00	Argilla sabbiosa giallastra da plastica a compatta				





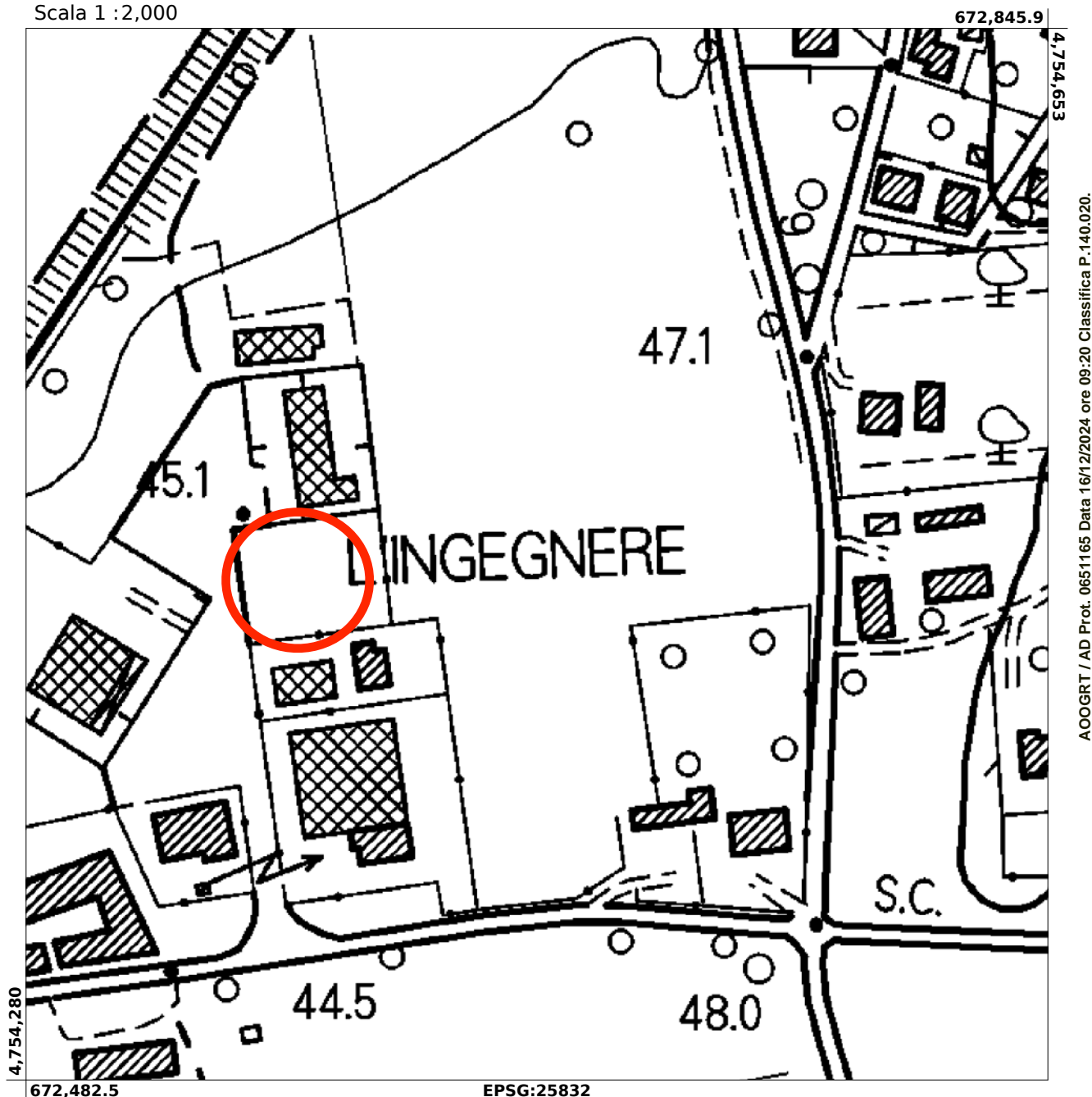
Regione Toscana



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI

Cartografia del PIT con valenza di Piano Paesaggistico

Scala 1 :2,000





Regione Toscana

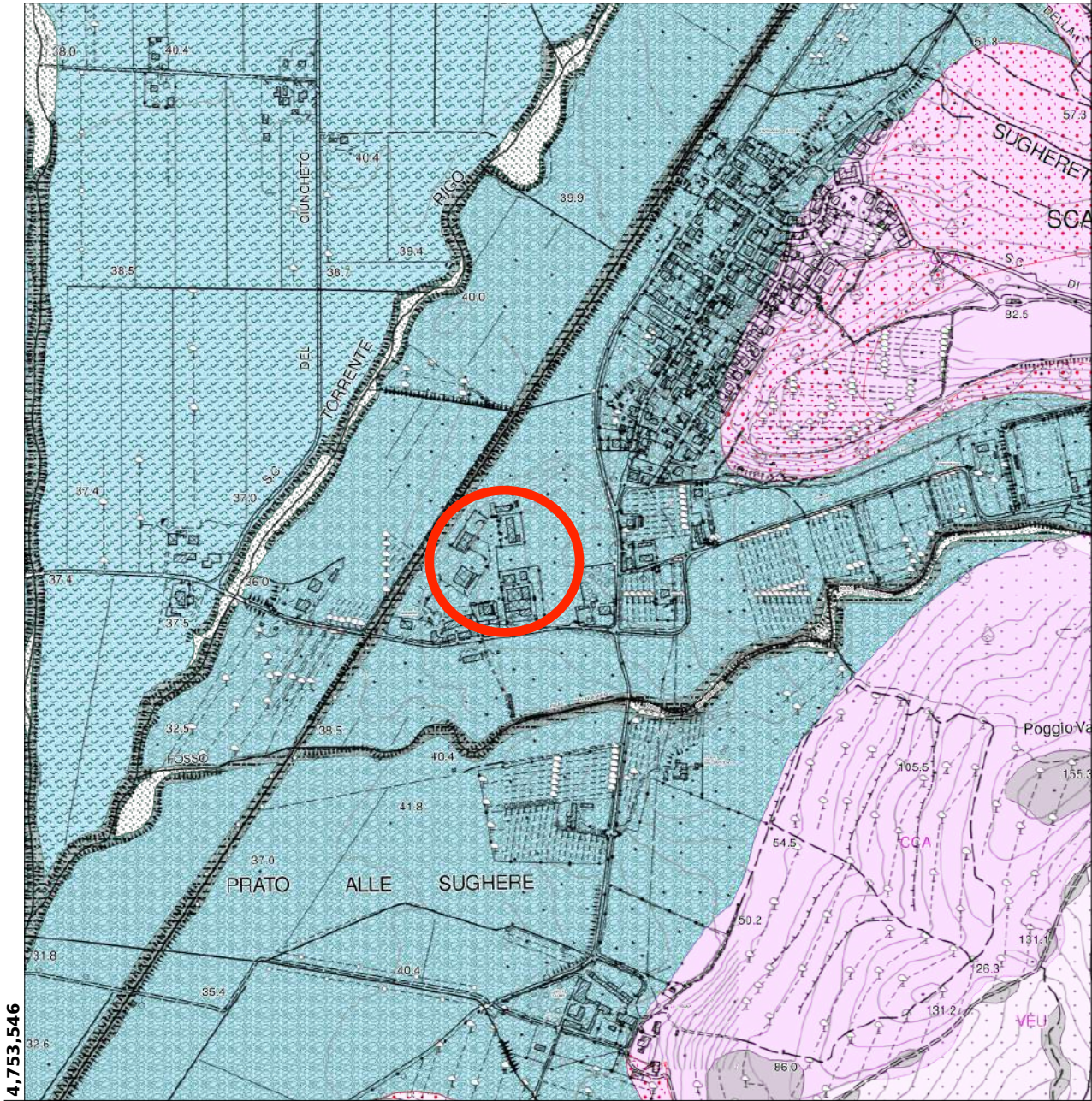


Regione Toscana - DB Geologico

Scala 1 : 10,000

1,673,602

4,755,415



4,753,546

1,671,786

EPSG:3003

Unita geologica areale

- ANL - Calcarei ad angulati LIAS
- CCA - Calcare cavernoso TRIASSICO SUPERIORE
- FCV - Formazione di Salto del Cervo TRIASSICO SUPERIORE
- MAS - Calcare Massiccio LIAS INFERIORE
- RSA - Rosso Ammonitico LIAS INFERIORE - LIAS MEDIO
- STO3 - Scaglia Toscana - Membro delle Calcareni di Mont
- VEU - Formazione della Verruca LADNICO - CARNICO
- VEUa - Formazione della Verruca: Membro delle Anageniti

Unita geologica areale

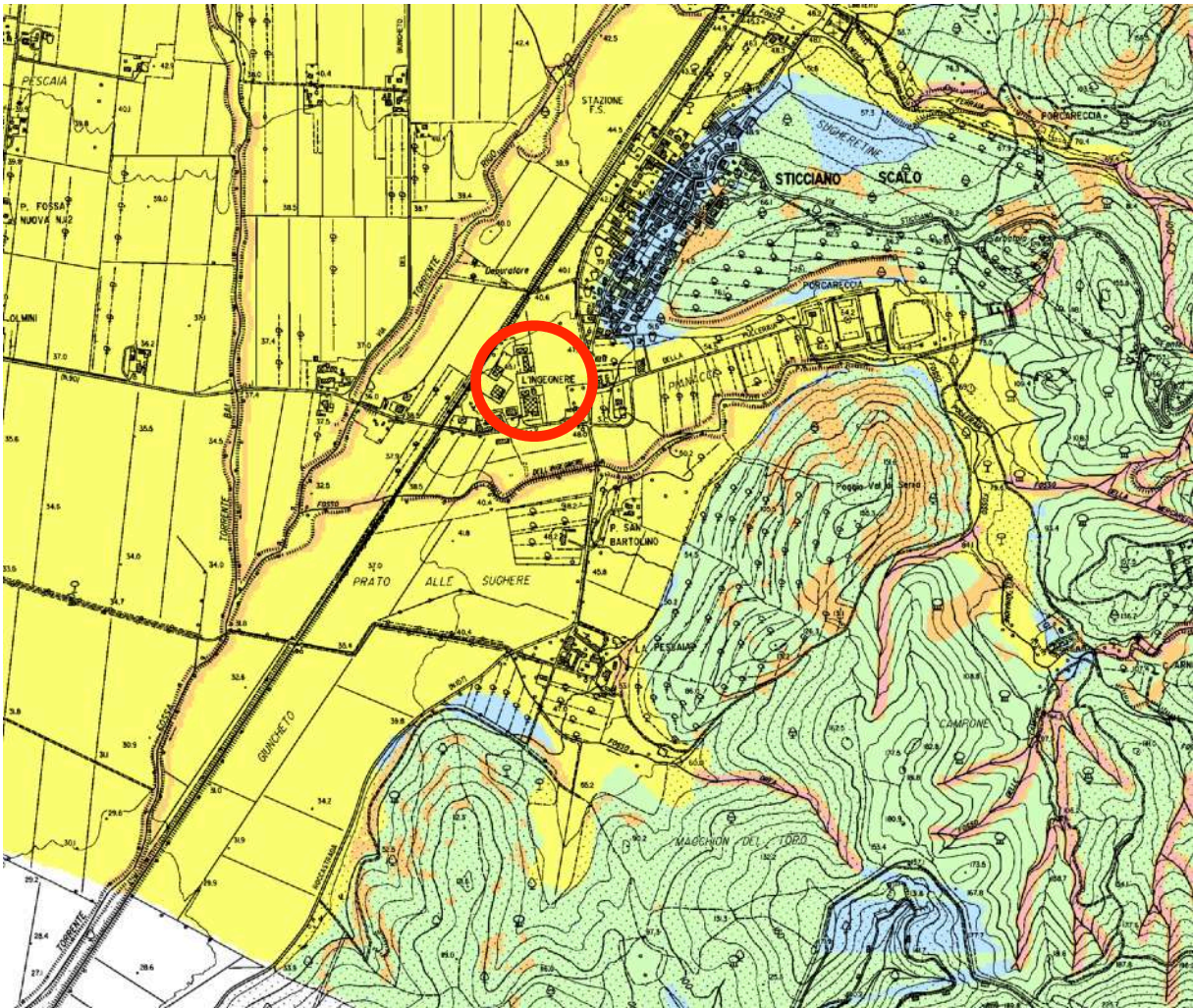
- SLEc - Conglomerati e paraconglomerati eterometrici mo

Depositi Superficiali da Geomorfologia

- Deposito di versante
- Deposito alluvionale Inattivo Ghiaie
- Deposito alluvionale Inattivo Limi inorganici

Pericolosità GEOMORFOLOGICA

Comune di Roccastrada - Loc. Ingegnere



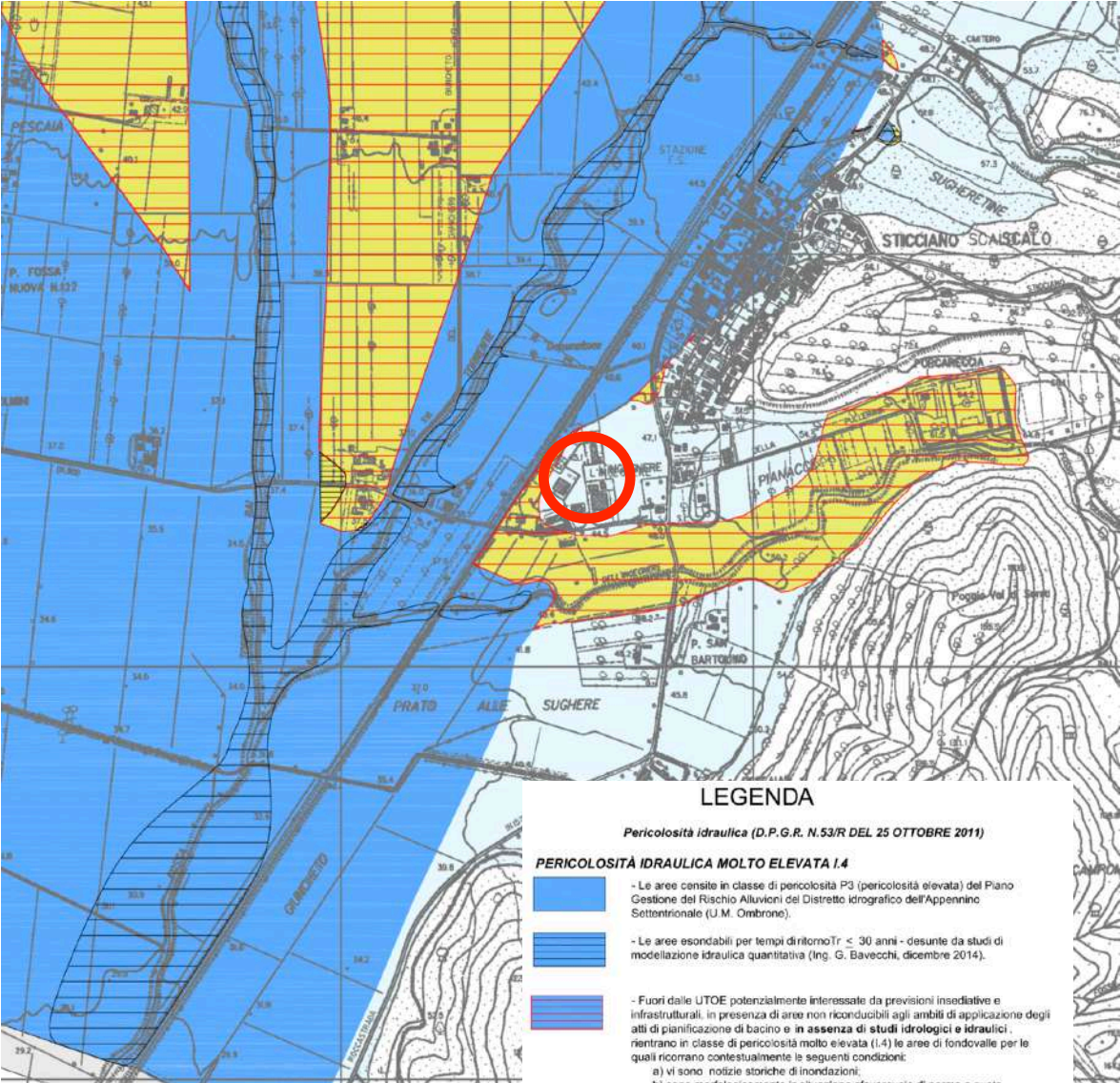
Nord ↑

Legenda
Pericolosità geologica (D.P.G.R. N.53/R DEL 25 OTTOBRE 2011)

- Pericolosità geologica molto elevata (G.4)** : aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici attivi e relative aree di influenza e di possibile evoluzione, aree interessate da scollamenti. Comprendono alle aree P.F.M.E. (pericolosità geomorfologica molto elevata) del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del Fiume Ombrone caratterizzati da fenomeni franosi attivi e relative aree di influenza di cui all'istruttoria dell'Autorità di Bacino di Distretto Appennino Settentrionale prot. 0004409 del 11.06.2018.
- Pericolosità geologica elevata (G.3.a)** : aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici quiescenti e relative aree di influenza; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'attività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza. Comprendono alle aree P.F.E. (pericolosità geomorfologica elevata) del Piano di del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del Fiume Ombrone, caratterizzati da fenomeni franosi quiescenti di cui all'istruttoria dell'Autorità di Bacino di Distretto Appennino Settentrionale prot. 0004409 del 11.06.2018.
- Pericolosità geologica elevata (G.3.b)** : aree caratterizzate da terreni con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti.
- Pericolosità geologica media (G.2)** : aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.
- Pericolosità geologica bassa (G.1)** : aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

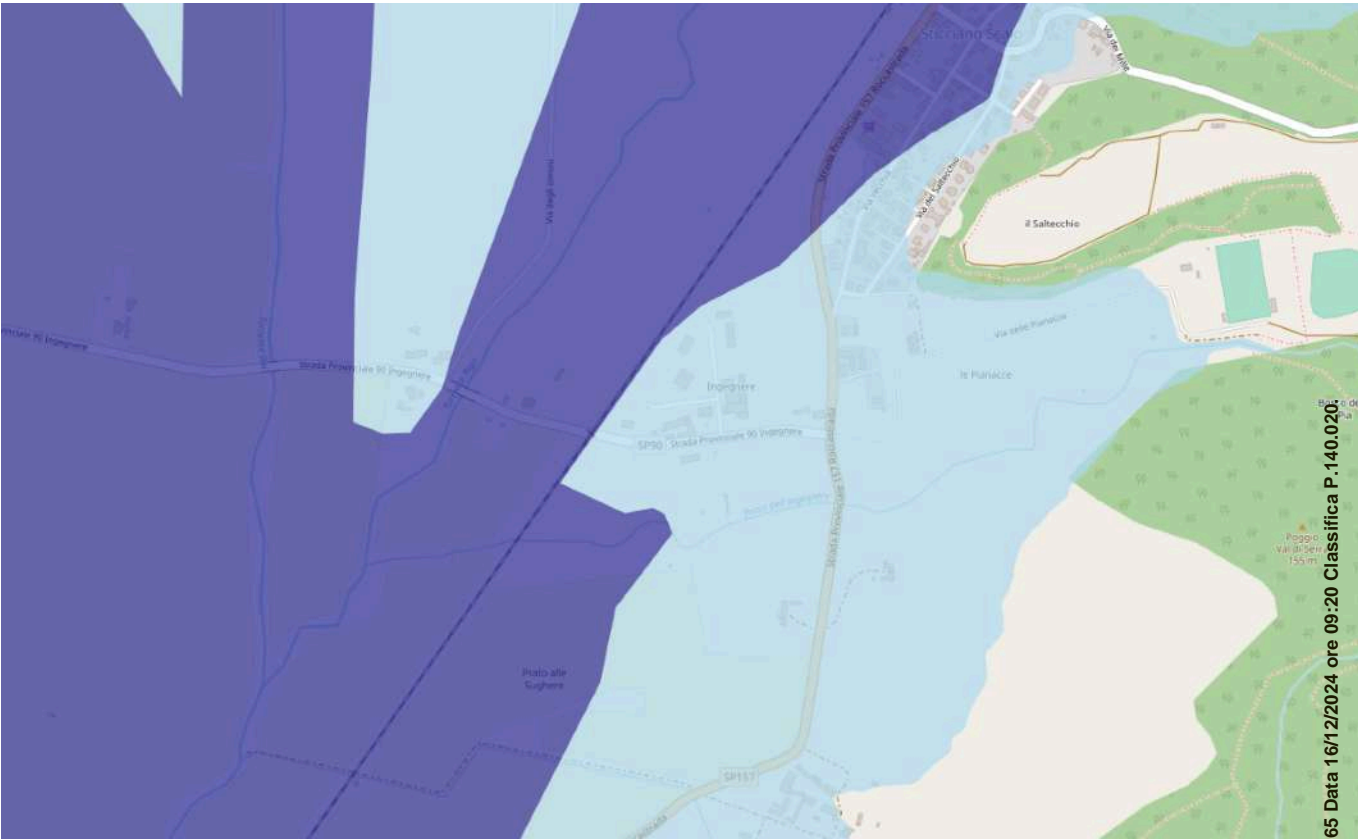
Pericolosità IDRAULICA

Comune di Roccastrada - Loc. Ingegnere



Nord ↑

Estratto di mappa - PGRA



Carta Topografica
Scala 1:10000

Legenda

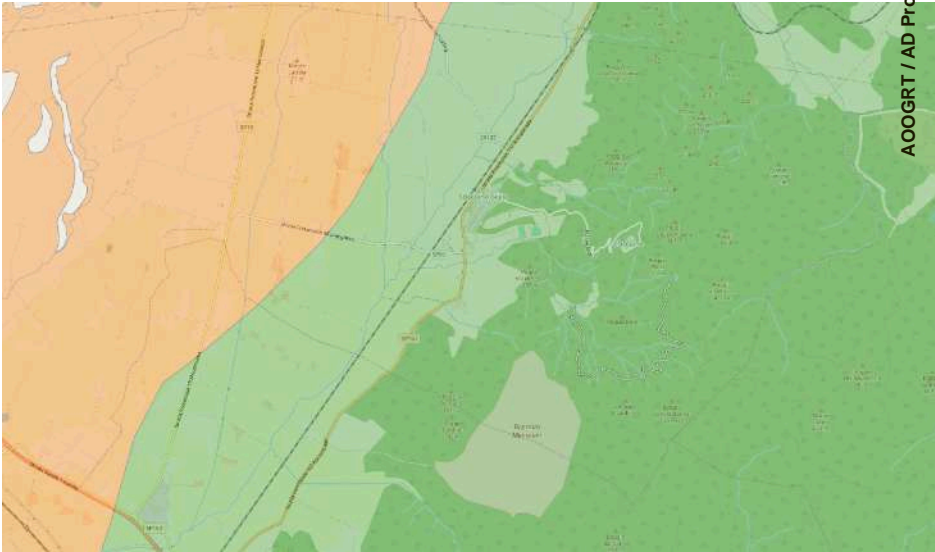
PGRA_ITC_Fluvial

- 1
- 2
- 3

PGRA_ITC_Coast

- 1
- 2
- 3

Corpo idrico della Pianura di Grosseto



Nord ↑

- Buono stato
- Cattivo stato

Valori caratteristici del terreno Zona n. 1

Nome	Sticciano Scalo
Descrizione	
Committente	
Cantiere	
Indirizzo	
Nazione	
Operatore	
e-mail	
Responsabile	
Note	

Sondaggio n. 1

Nome	Prova Penetrometrica
Data della prova	16/06/2023
Latitudine[°]	--
Longitudine[°]	--
Altitudine[m.s.l.m.]	--
Descrizione	
Tipo di prova	Dinamica continua
Profondità prova[m]	2.40
Falda	Non presente
Categoria del suolo	B
Note	

Strato n. 1

Descrizione	
Spessore [m]	1.80

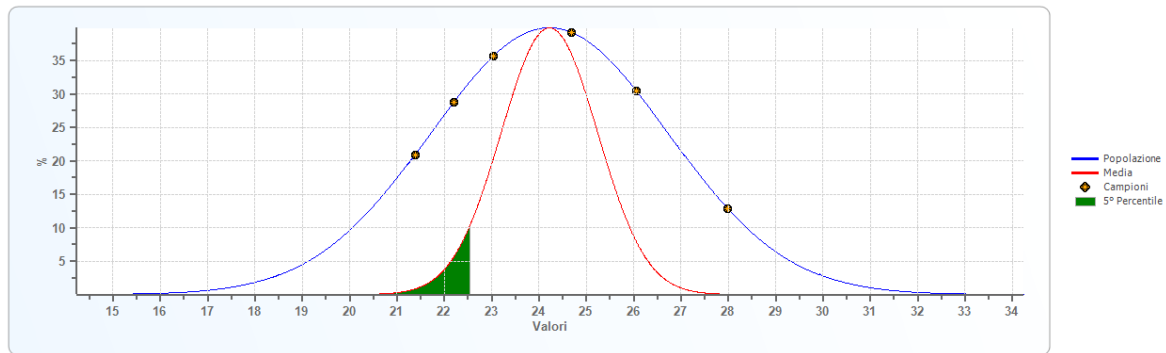
Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
1	26.05	98.07	12994.79	15.78	19.50
2	22.20	24.52	7094.13	14.21	18.62
3	21.38	24.52	5834.96	13.82	18.52
4	23.03	49.03	8358.21	14.50	18.82
5	24.68	98.07	10886.36	15.19	19.21
6	27.98	98.07	15942.67	16.46	19.89

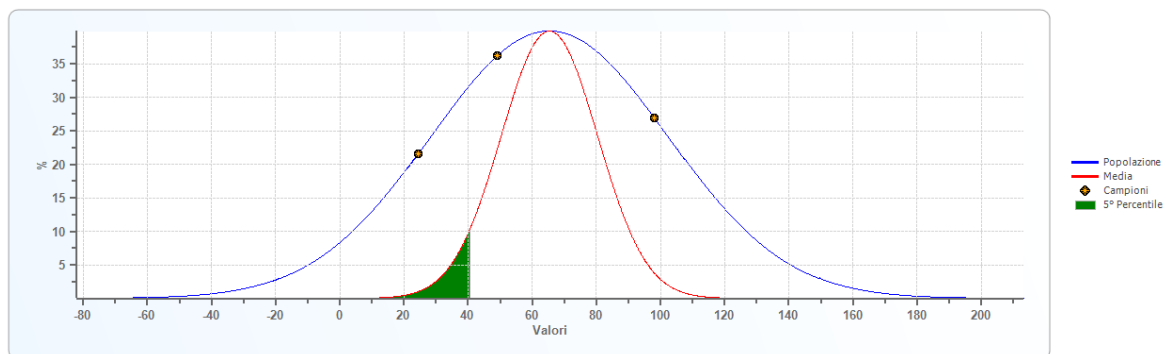
Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media
Valore caratteristico	22.54	40.59	7612.96	14.32	18.73
Minimo	21.38	24.52	5834.96	13.82	18.52
Massimo	27.98	98.07	15942.67	16.46	19.89
Valore medio	24.22	65.38	10185.19	14.99	19.09
Varianza	6.25	1362.41	14670225.05	1.01	0.29
Dev. St.	1.02	15.07	1563.66	0.41	0.22
Dev. St. Med.	1.02	15.07	1563.66	0.41	0.22
Percentile	(5°) 20.11	(5°) 4.66	(5°) 3884.55	(5°) 13.34	(5°) 18.21
percentile media	(5°) 22.54	(5°) 40.59	(5°) 7612.96	(5°) 14.32	(5°) 18.73
C.O.V.	0.10	0.56	0.38	0.07	0.03

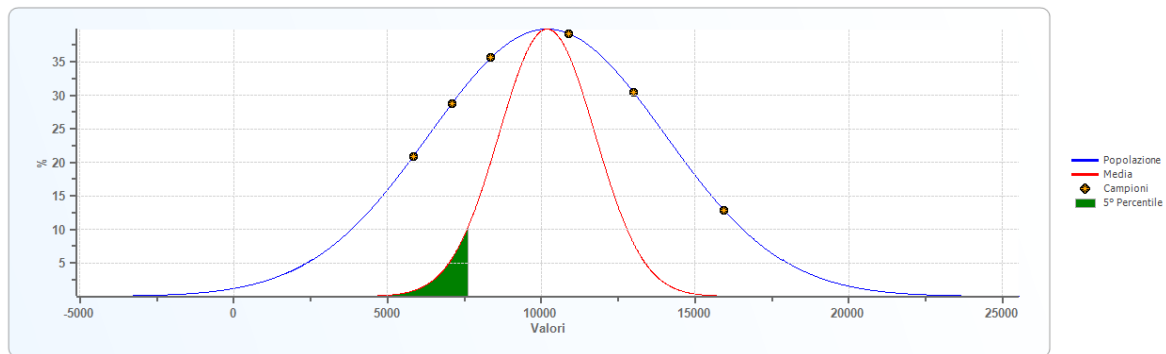
phi' - Angolo di resistenza al taglio



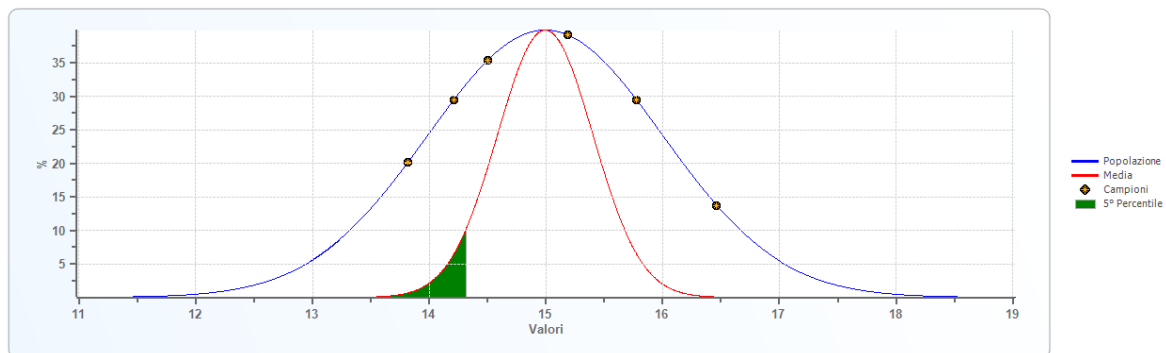
Cu - Coesione non drenata

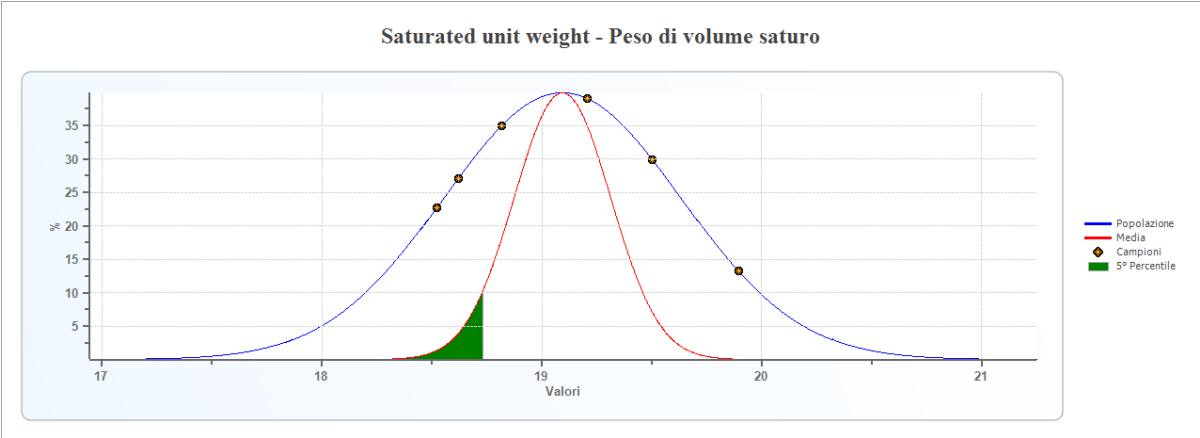


Eed - Modulo di compressibilità edometrica



Dry unit weight - Peso di volume naturale





Strato n. 2

Descrizione
Spessore [m] | 0.60

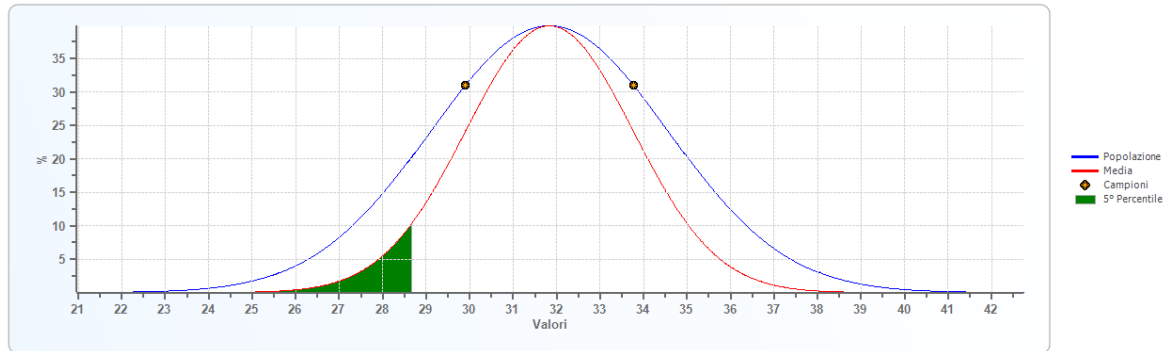
Elenco delle misure

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
1	29.91	0.00	18890.55	17.05	20.29
2	33.76	0.00	24786.31	18.03	21.07

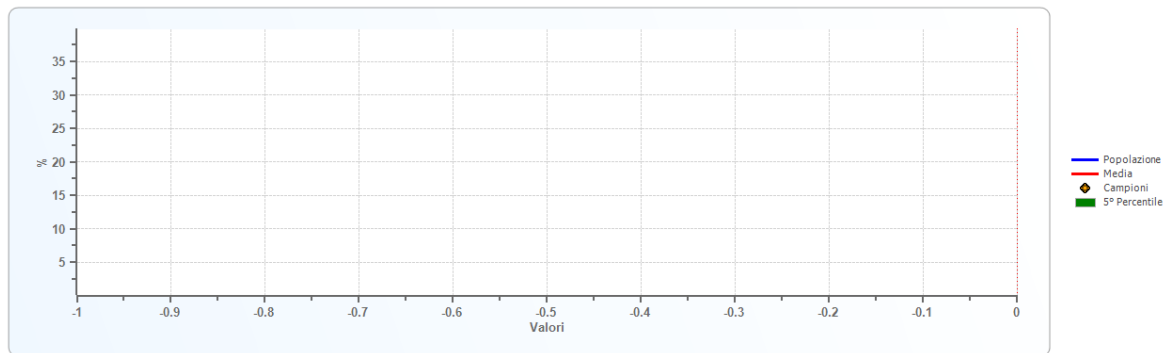
Risultati elaborazione

	Angolo di resistenza al taglio [°]	Coesione non drenata [kN/mq]	Modulo di compressibilità edometrica [kN/mq]	Peso di volume naturale [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]
Tipo di elaborazione	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard	Distribuzione standard
Valore considerato	5° percentile media	5° Percentile	5° percentile media	5° percentile media	5° percentile media
Valore caratteristico	28.67	--	16989.17	16.74	20.03
Minimo	29.91	0.00	18890.55	17.05	20.29
Massimo	33.76	0.00	24786.31	18.03	21.07
Valore medio	31.83	0.00	21838.43	17.54	20.68
Varianza	7.41	0.00	17379980.09	0.48	0.31
Dev. St.	1.92	0.00	2947.88	0.49	0.39
Dev. St. Med.	1.92	0.00	2947.88	0.49	0.39
Percentile	(5°) 27.36	(5°) --	(5°) 14980.54	(5°) 16.40	(5°) 19.77
percentile media	(5°) 28.67	(5°) --	(5°) 16989.17	(5°) 16.74	(5°) 20.03
C.O.V.	0.09	NaN	0.19	0.04	0.03

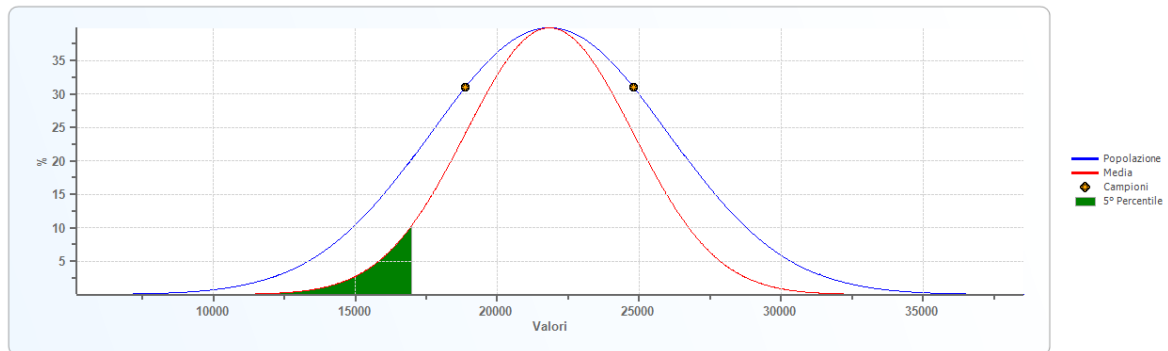
phi' - Angolo di resistenza al taglio



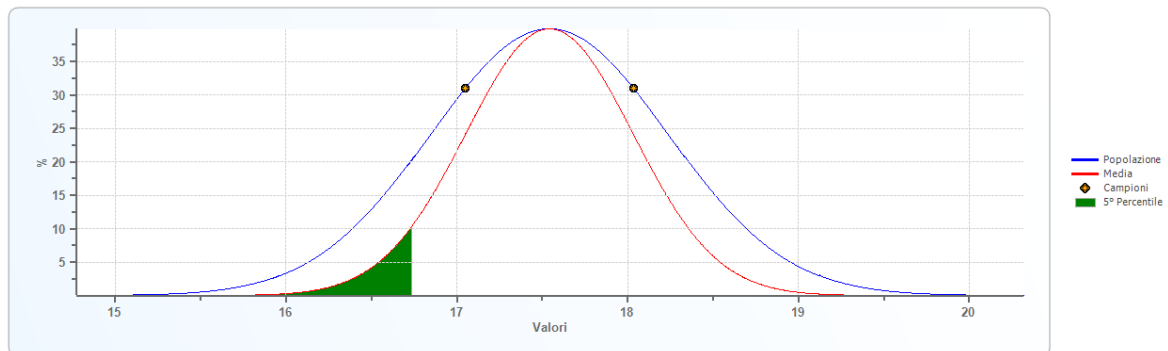
Cu - Coesione non drenata



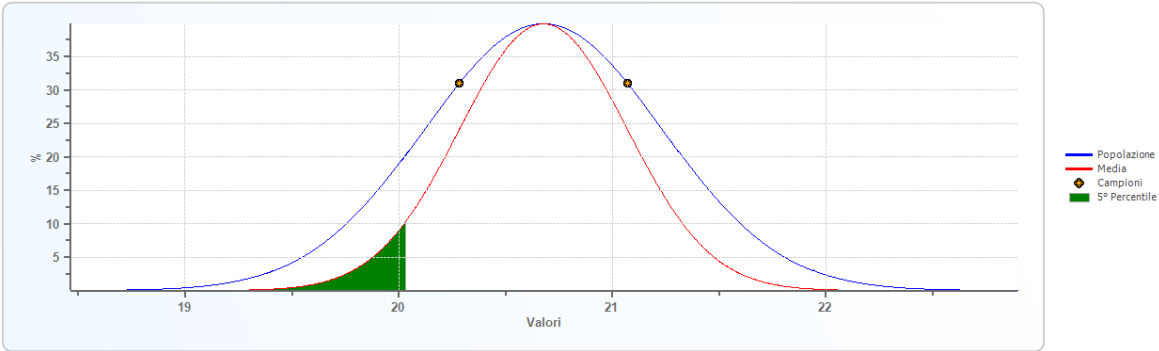
Eed - Modulo di compressibilità edometrica



Dry unit weight - Peso di volume naturale



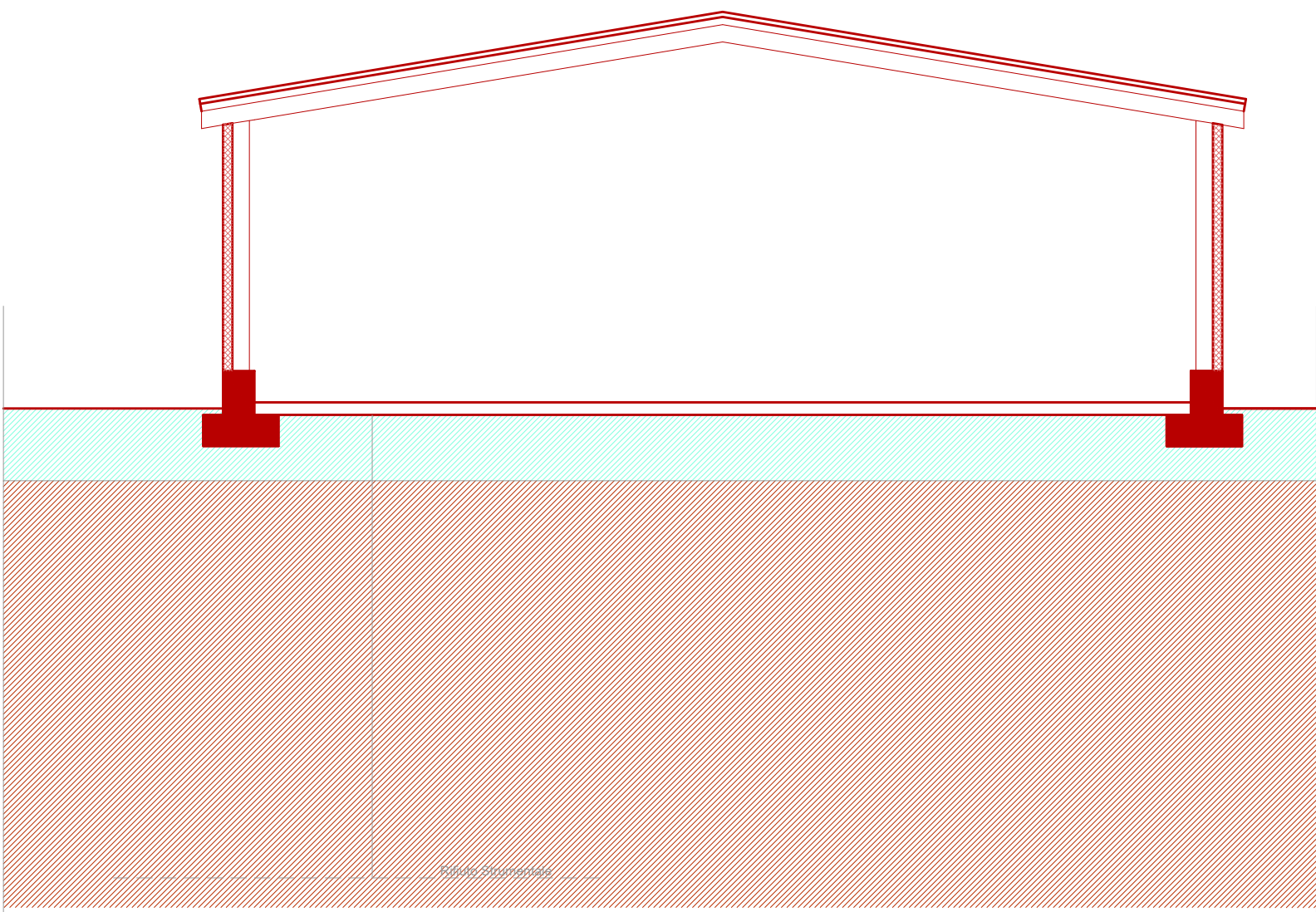
Saturated unit weight - Peso di volume saturo



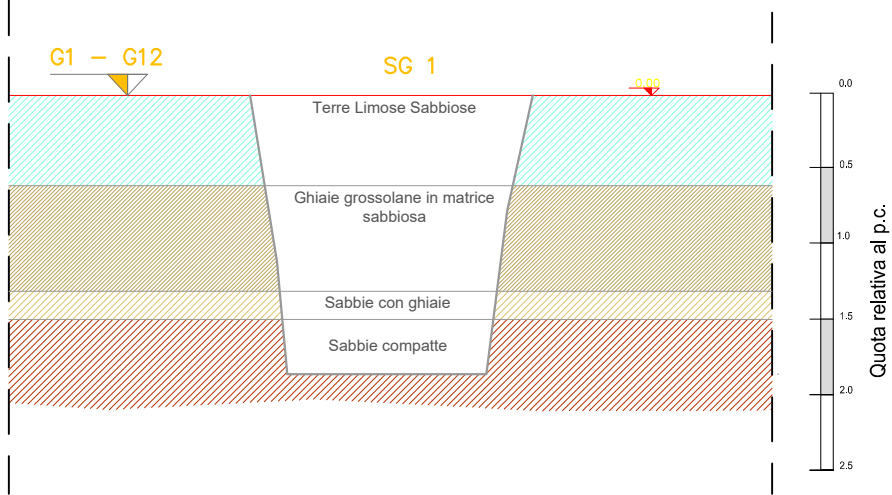
Indice

Valori caratteristici del terreno	.1
Zona n. 1	.1
Sondaggio n. 1	.2
Strato n. 1	.2
Strato n. 2	.4
Indice	.9

SEZIONE A-A'



Modello LITOSTRATIGRAFICO
Scala 1:50
SEZ. TRASVERSALE
Modello Geotecnico dei livelli nel sottosuolo



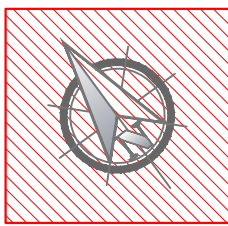
LEGENDA LITOLOGIE

- Terre Limose Sabbiose
- Ghiaie medie grossolane in matrice sabbiosa

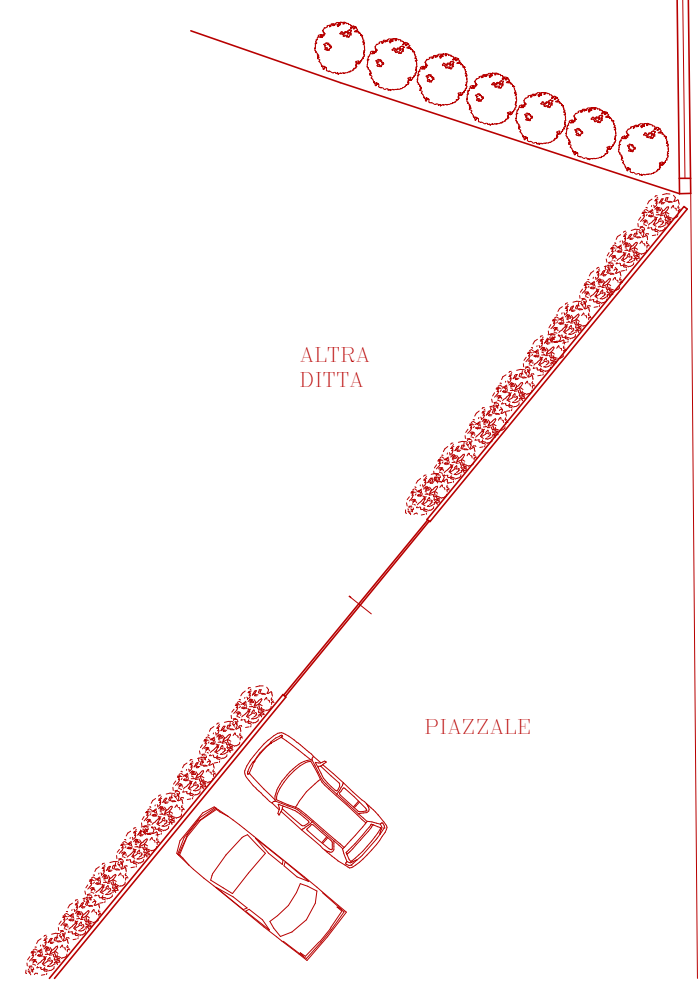
LEGENDA SIMOLISMO

PROVA SISMICA MASW e GRM G24

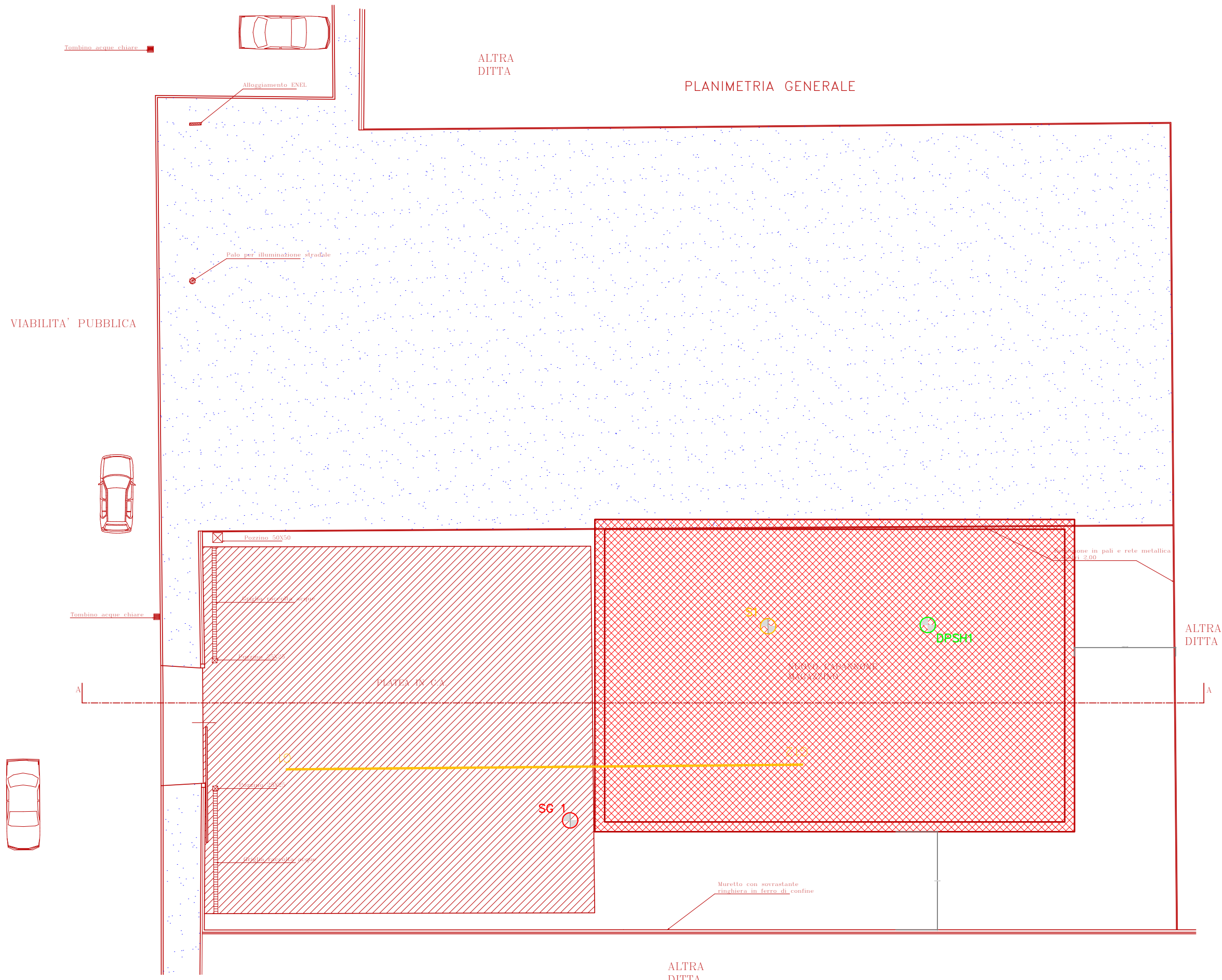
- Saggio Geognostico SG 1
- Sondaggio Geognostico S1
- Indagine Penetrometrica DPSH1



DITTA ECOTET S.r.l. Unipersonale



PLANIMETRIA UBICATIVA DELL'AREA
OGGETTO DI STUDIO



Inquadramento Area di intervento



	Litologia	Profondità	Angolo di resistenza al taglio	Coesione non drenata	Modulo di compressibilità edometrica	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo
		(m)	[°]	[kN/mq]	[kN/mq]	[kN/mc]	[kN/mc]
Strato 1	Limi Sabbiosi	1,8	22.54	40.59	7612.96	14.32	18.73
Strato 2	Ghiaie	2,4	28.67	--	16989.17	16.74	20.03

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO
SEZIONE A-A

