

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTI:

Sede legale: Via Fontebranda 65 - 53100 Siena
Sede amm.va: Via Simone Martini 57 - 53100 Siena Tel. 05771524435 / Fax 05771524439
CF e P.Iva 01349420529 - Rea: Si-140523
Capitale sociale: sottoscritto e versato euro 26.296.566,00
PEC: seitoscana@legalmail.it email: segreteria@seitoscana.it



COMUNE DI GAVORRANO
GIUGNO 2019

OGGETTO: RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

Studio di fattibilità e relazione geologica in località "Le Basse di Caldana" del
Comune di Gavorrano (GR)



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

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, **SEI TOSCANA srl**, e per presa visione degli elaborati dell'Ing. **Dario MATTAFIRRI**, Geom. **Gianluca CAVUOTO**, Ing. **Giulio FAVETTA**, Dott. **Marco CASALE**, 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'area oggetto di studio è cartograficamente rappresentata nel Foglio 318080 della Carta Topografica d'Italia 1:10.000 - I.G.M., ed in dettaglio nell'elemento n° 318083 della nuova Carta Tecnica Regionale 1:5.000.

L'opera è ubicata all'interno della Particella catastale 285-286-287, censita nel Foglio n°183 **Loc. Basse di Caldana - Comune di Gavorrano**, e consiste in una **"Progetto di realizzazione di nuovo Centro di Raccolta sito nel Comune di Gavorrano"**. In particolare l'area oggetto di studi prevede la trasformazione funzionale del lotto con alcune sistemazioni sul cordolo perimetrale e all'area di stoccaggio rifiuti, pozzetti di recapito delle acque pluviali e una tettoia di nuova realizzazione dalle dimensioni totali di 23,80 m * 4,80 m così come meglio descritto negli elaborati progettuali.

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 Gavorrano;

- *Regolamento Urbanistico del Comune di Gavorrano*;
- *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 Gavorrano** e del **Regolamento Urbanistico** del Comune di Gavorrano.

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 4** per il territorio di Gavorrano, 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	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

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 Gavorrano**, l'area in esame ricade nelle zone a **Pericolosità Idraulica** è infatti inserita nella classe **Pericolosità Idraulica I2/I3**, mentre per **Pericolosità Geomorfologica** l'area in esame è inserita nella classe **Pericolosità Geologica Basso - Classe I Pericolosità Irrilevante**.

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 / I3 Elevata (ai sensi del D.P.G.R. 26/2007)

L'intervento è ricadente parzialmente nella classe di pericolosità idraulica **I3 "Elevata"** data la vicinanza con

il vicino **Fosso Dell'Acqua Nera**.

Pericolosità Geomorfologica G1 - Bassa (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 rientrante 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 Gavorrano**, lungo la via *Aurelia Vecchia n. 152*, in **Loc. BIVIO di CALDANA** 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 prossimali 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 36 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 **Fosso Dell'Acqua Nera**, che presenta nella zona il caratteristico andamento delle fossette campestri, se pur di modeste dimensioni il suo bacino imbrifero risulta molto esteso nelle colline prossimali.

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 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 sono rilevate rispetto al normal declivio del terreno per permettere la realizzazione di un piazzale pianeggiante.

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 Gavorrano, 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.

DEPOSITI SUPERFICIALI - Alluvioni Attuali

Depositi alluvionale inattivo Limi Inorganici

UNITA' GEOLOGICA AREALE SLEc

Conglomerati e paraconglomerati eterometrici

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.

Dalle analisi cartografiche si evince che l'area oggetto di studi è interessata da una presunta lineazione di faglia che attraversa le litologie sepolte del calcare cavernoso. Le indagini effettuate non hanno potuto verificare la presenza di una faglia in questa posizione all'interno della formazione rocciosa.

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 *FOSSO DELL'ACQUA NERA*, 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 bassa. Questo viene confermato dalla **"Carta della Permeabilità"** del Piano Strutturale che individua il sito come **P-M "Unità litologica a permeabilità media per porosità"**.

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 0,6 m dal p.c., in livelli inturgiditi con le argille e limi, nei periodi invernali, mentre nella stagione secca 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 misura annuali.

L'area di studio non è soggetta ad alluvionamento ma alcune zone risultano essere addossate al versante che negli eventi di piovosità più intensa può risentire di un accumulo locale o ristagno di acqua alla base della struttura oggetto di intervento. Il drenaggio dovrà essere garantito dalla presenza di alcune opere di regimazione antropica, che raccogliendo le acque meteoriche, garantiscono un facile deflusso per eliminare i possibili fenomeni di ristagno.

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 Gavorrano** che indica la località oggetto di studi ricadente nell'unità **Vulnerabilità Media**.

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 **Gavorrano** nella "**Carta Litotecnica**" conferma quanto detto, definendo l'area di intervento con la **Unità 2**. A tale classe appartengono le formazioni appartenenti alle - Unità delle successioni ghiaiose -sabbiose - argillose (detrito dt. alluvioni attuali, travertini attuali recenti e antichi tr).

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	<i>Il terreno oggetto di studio è stato individuato come appartenente alla formazione dei Alluvionali Attuali: Argille con Sabbie e limi in matrice argillosa.</i>
DISSESTI GEOMORFOLOGICI	<i>Nello specifico del sito in esame non sono presenti lineamenti di dissesto geomorfologico attivo e/o quiescente</i>
MODELLO GEOLOGICO STRUTTURALE	<i>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.</i>
FALDA	Falda presunta a quota - 0,6 m da p.c. <i>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.</i>
PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	<i>Pericolosità Geologica Bassa Classe I Pericolosità Bassa dal P.S.C. Pericolosità Geologica Bassa (Classe G.1) dal R.U.C.</i>
PERICOLOSITA' IDRAULICA	<i>Pericolosità Idraulica Classe n.r. Pericolosità Irrilevante dal P.S.C. Pericolosità Idraulica Media (Classe I.2 - I.3) dal R.U.C.</i>
OSSERVAZIONI SULLA STRUTTURA	<i>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.</i>
PROVE GEOGNOSTICHE	<i>Sono state effettuate prove sito specifiche per la determinazione 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.</i>

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. 1
Rischio idraulico	classe n. 2/3
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 la **classe di fattibilità generale risulta la n. 2**, fattibilità con normali vincoli.

Si rimanda ad una verifica puntuale della fattibilità idraulica dell'intervento eseguita dall'**Ing. Ombrato Michele** così come meglio descritta negli elaborati dedicati alla verifica idraulica del sito.

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
 DOTT. GEOL.
 UCCELLETTI
 N° 1687
 sez. A

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMITTENTI:

Sede legale: Via Fontebranda 65 - 53100 Siena
Sede amm.va: Via Simone Martini 57 - 53100 Siena Tel. 05771524435 / Fax 05771524439
CF e P.iva 01349420529 - Rea: Si-140523
Capitale sociale: sottoscritto e versato euro 26.296.566,00
PEC: seitoscana@legalmail.it email: segreteria@seitoscana.it



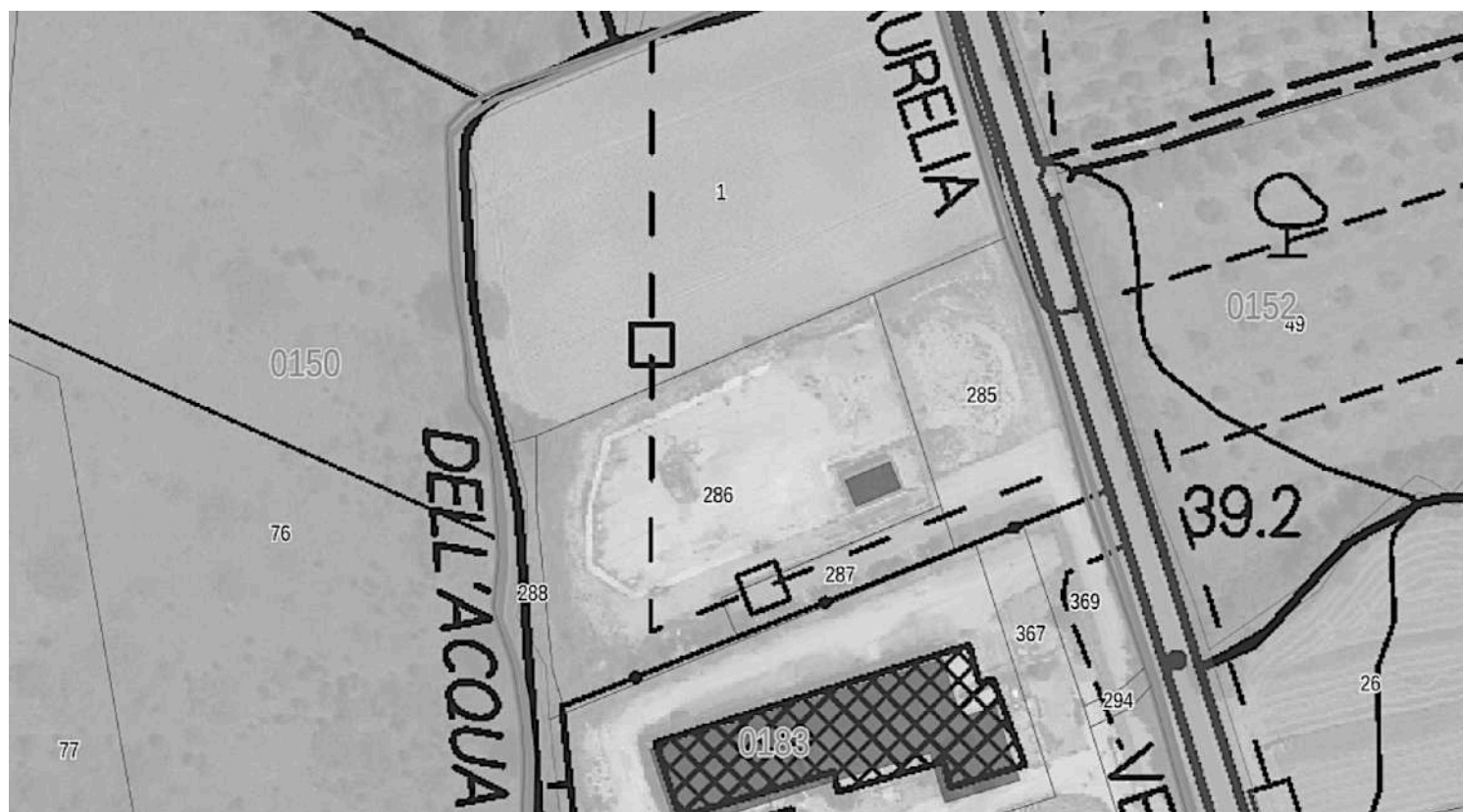
COMUNE DI GAVORRANO
GIUGNO 2019

OGGETTO:

RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOTECNICA

Studio di fattibilità e relazione geologica in località "Le Basse di Caldana" del
Comune di Gavorrano (GR)

RELAZIONE GEOTECNICA 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

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 Gavorrano - Loc. Basse di Caldana**.

Il territorio del Comune di Gavorrano **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 4 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 $a_g < 0.05$ g; e da una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di $a_g = 0.05$ 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 PENETROMETRIA DPSH 1. 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: 42,90456
longitudine: 10,955063
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento ED 50

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	ID: 23827	Lat: 42,9058	Lon: 10,8959	Distanza: 4820,630
Sito 2	ID: 23828	Lat: 42,9073	Lon: 10,9641	Distanza: 798,017
Sito 3	ID: 24050	Lat: 42,8573	Lon: 10,9661	Distanza: 5330,920
Sito 4	ID: 24049	Lat: 42,8558	Lon: 10,8980	Distanza: 7144,604

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50 anni
Coefficiente cu: 1

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,070 g
Fo: 2,739
Tc*: 0,282 [s]

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) 1 us (m) 0.1

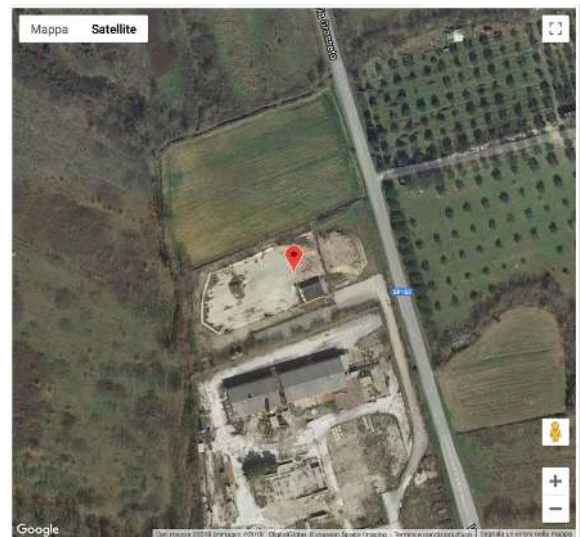
Cat. Sottosuolo B

Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,52	1,50	1,42	1,41
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

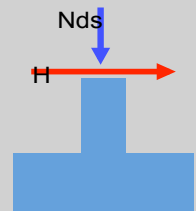
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.009	0.017	0.020
kv	0.004	0.004	0.008	0.010
Amax [m/s²]	0.351	0.420	0.820	0.984
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200



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

$K_h = K_h K = \beta_s \cdot a_{max} / g$
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: $T_1 = C_1 \times h^{3/4}$

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) Prova penetrometrica dinamica (valori riferite alle indagini DPSH 1 di campagna)

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	1.67	27.64	1.8	82.37	208.65	0.3	1426.57	TERRENO di RIPOSTO terreno antropizzato e di riporto e fortemente costipato.
3.6	1.45	22.17	0.47	43.03	0.0	0.34	436.32	ARGILLE LIMOSE CON SABBIA, di colore marrone rossastro.
4.5	1.68	27.94	1.88	84.53	213.9	0.3	1479.18	LIMI E SABBIE con GHIAIE - Depositi fini misti a depositi colluviali

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

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] - Schmetmann 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 f_k** 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, ovvero 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 = 581,89 [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 c_{u30} > 250 Kpa nei terreni a grana fina).

3) Prospezione sismica tramite profilo sismico a 24 canali, con tecnica G.R.M. di analisi dei sismostrati presenti nel sottosuolo:

Modello Sismostratigrafico	
Rifratore 1	887,1 m/s
Rifratore 2	1322,4 m/s
Rifratore 3	3868,2 m/s

La sismostratigrafia sottolinea la presenza litologica di tre livelli con spessori variabili con un livello profondo che declina verso Nord 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

Indagine Sismica MASW

Comune di Gavorrano – Bivio di Caldana

Stendimento e campionamento

Data acquisizione: 31 Maggio 2019
Offset minimo: 3 mt.
Distanza intergeofonica: 1 mt.
Lunghezza stendimento: 22 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.

Pag.
1

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 per mezzo Software
EasyMASW Geostru Software.

Pag.
3

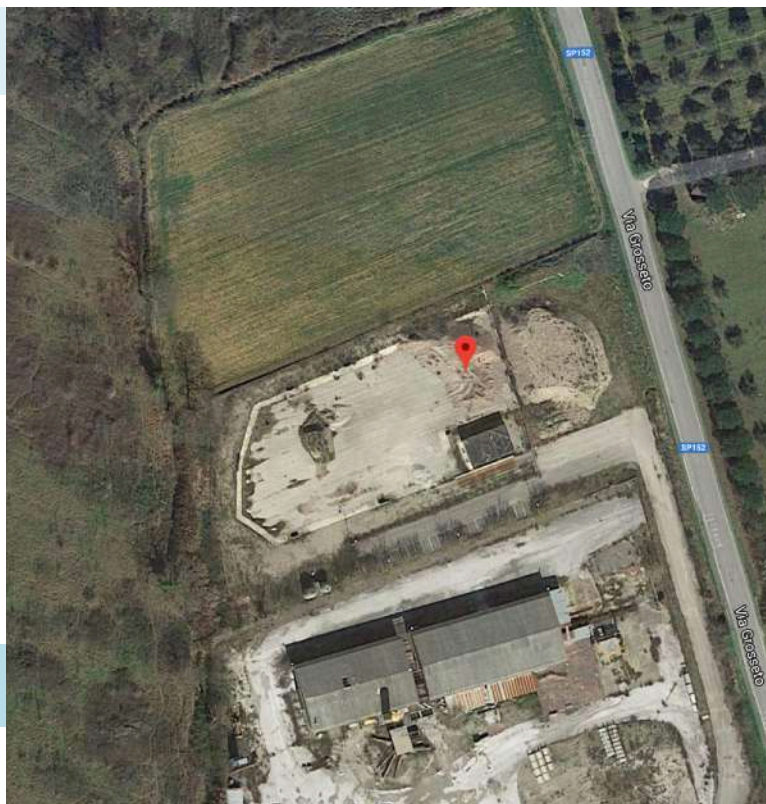
1. Analisi delle tracce
2. Analisi spettrale
3. Processo di inversione
4. Costruzione del modello sismostratigrafico del terreno (Profili di velocità)
5. Tabelle dei valori di inversione e valori geotecnici.
6. Calcolo del parametro Vs30

Classificazione Simica

La velocità delle onde S nei primi
30 metri risulta:

Pag.
5

Vs, eq = 517,27 [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

Piazza C. Cavalieri n. 1 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

UBICAZIONE

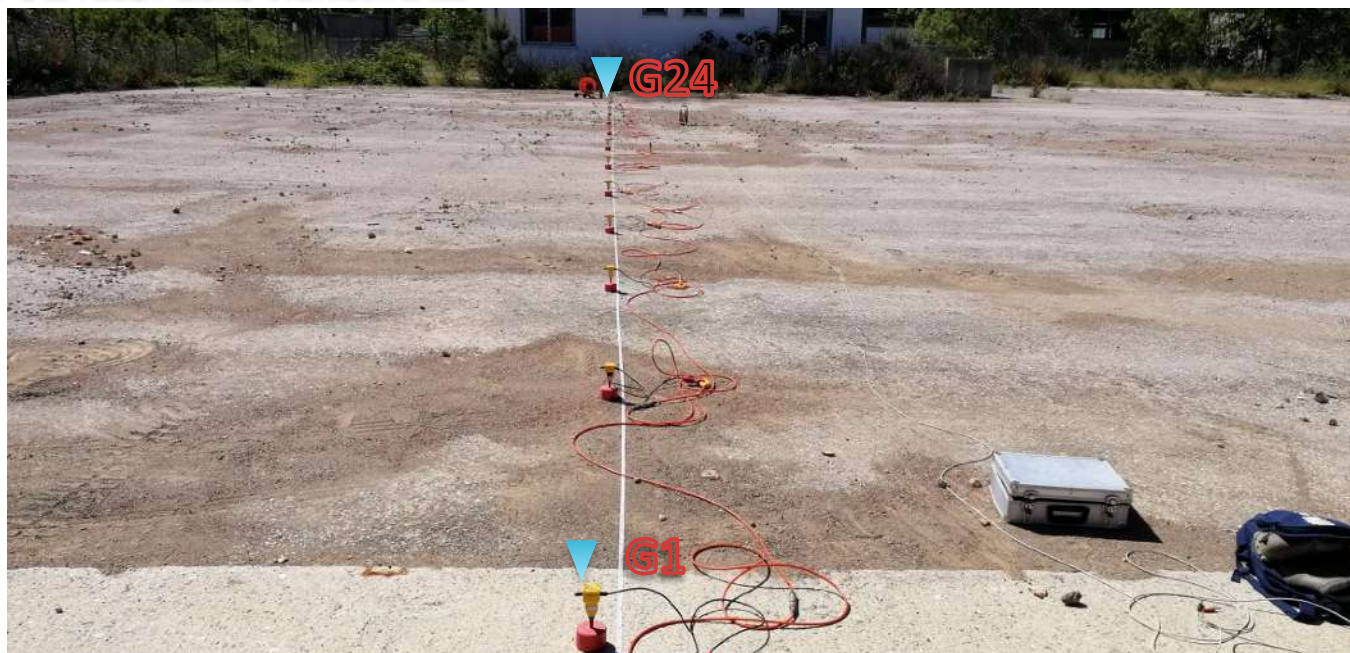
Coordinate medie dello
Stendimento (*Google Earth*)
42.903655, 10.954155

ORIENTAZIONE STENDIMENTO

Nord – Sud



Foto locali dello stendimento



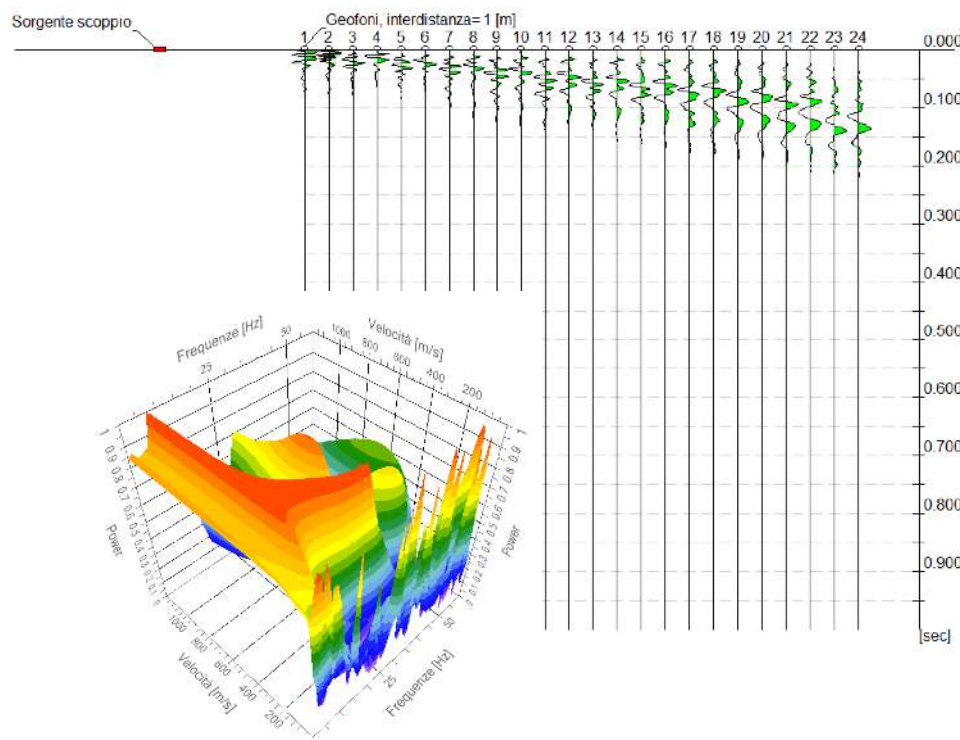
Software di elaborazione del segnale acquisito:

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, flessione, abrasioni ed agenti chimici

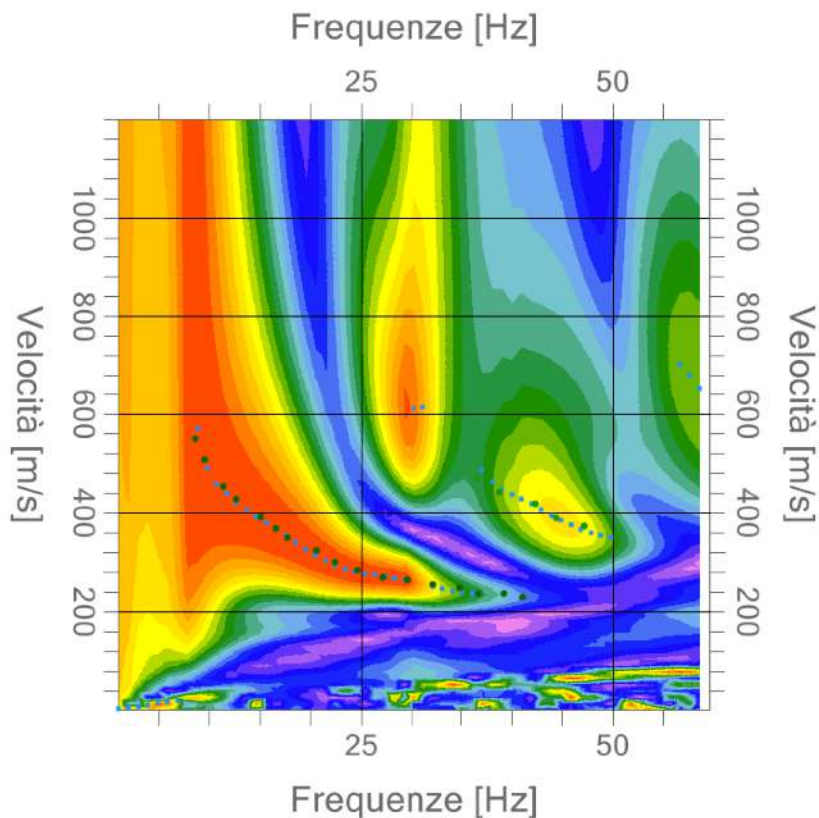
Campionamento
Memoria: 64 kBytes (>30000 campioni)
Frequenze selezionabili: da 200 a 20000 Hz (da 5 a 0.05 ms)
Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)
Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri: 3Hz passa alto, 200Hz passa basso
Selezione modo comune: >80dB
Diafonia (crosstalk): 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: 0.000002V 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



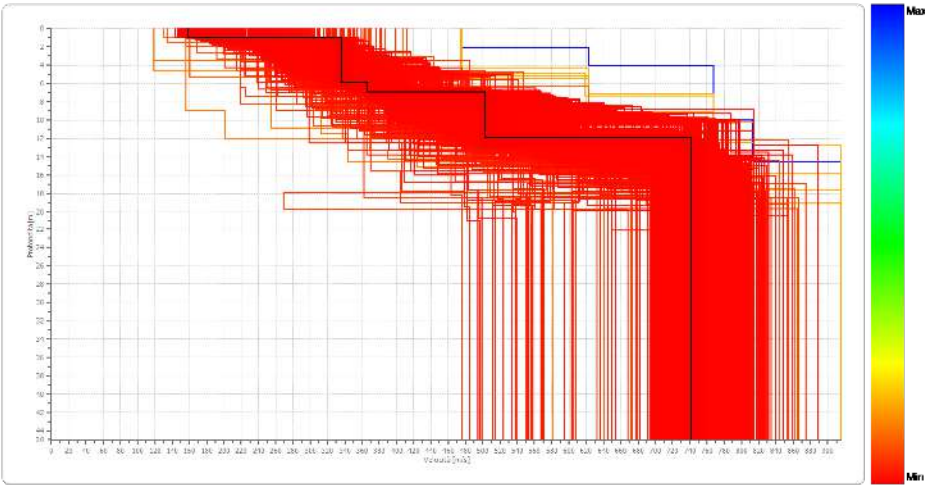
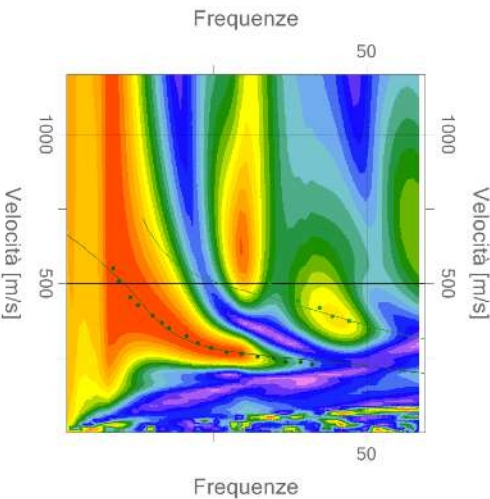
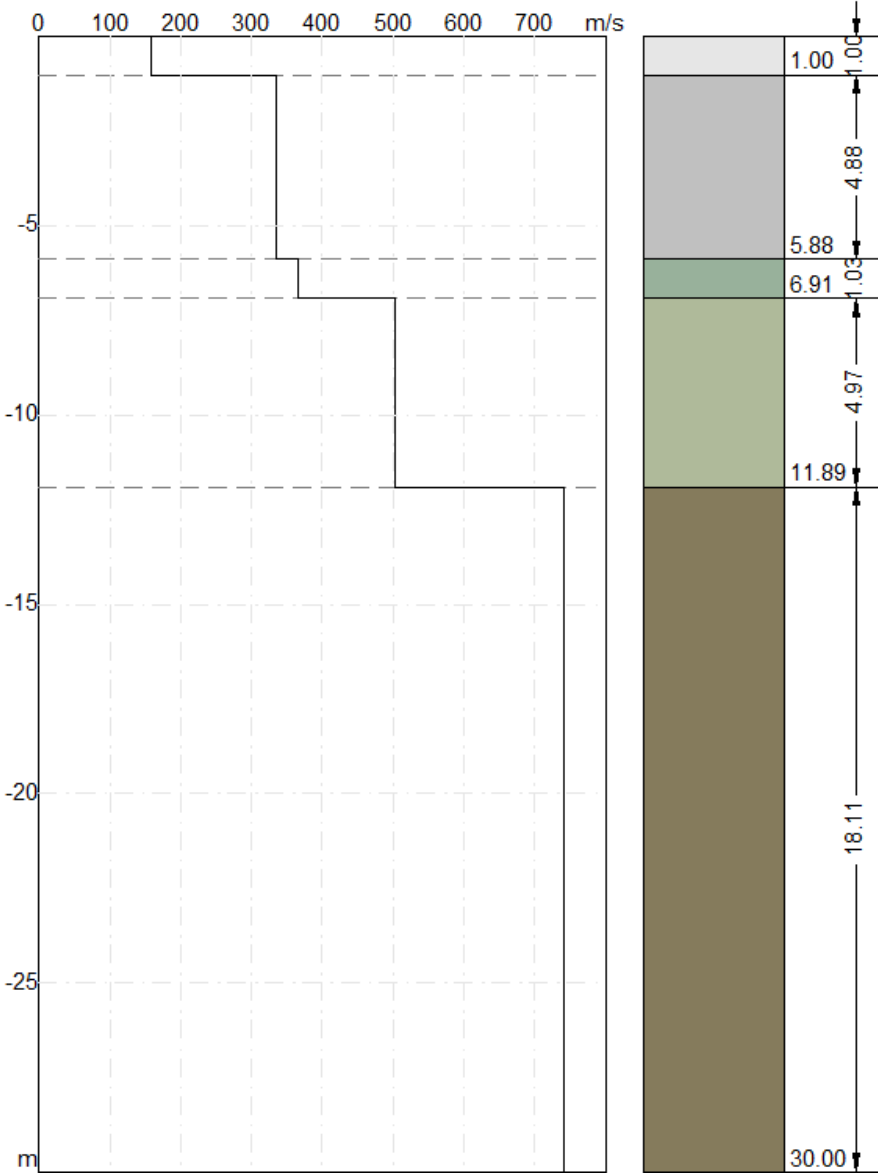
Software di elaborazione del segnale acquisito:

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	1.00	1.00	157.95	257.92	1800.00	0.20	44.90	119.74	59.87	107.77
2	5.88	4.88	335.52	547.91	1800.00	0.20	202.64	540.36	270.18	486.33
3	6.91	1.03	365.98	597.65	1800.00	0.20	241.10	642.92	321.46	578.63
4	11.89	4.97	502.73	820.96	1800.00	0.20	454.93	1213.15	606.57	1091.83
5	oo	oo	742.12	1211.87	1800.00	0.20	991.33	2643.54	1321.77	2379.19

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

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

Calcolo del parametro Vs eq

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

Vs, eq = 517,27 [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 Rayleigh, 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 $f = v/\lambda$) 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 consistito 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 Gavorrano - Bivio di Caldana

Campionamento e configurazione:

Shot interni allo stendimento n. 1

Shot esterni allo stendimento n. 2

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).

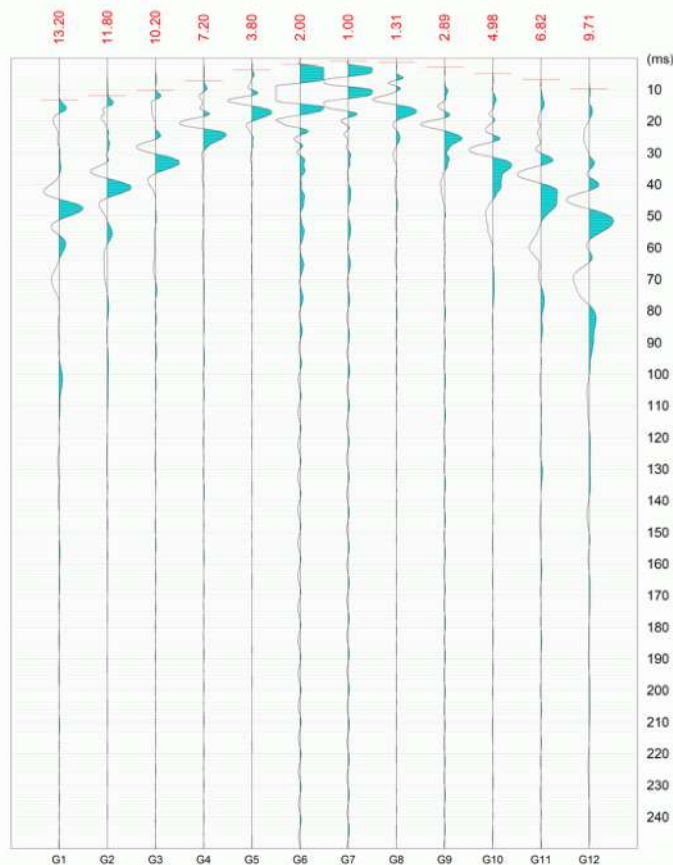
Elaborazione

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 prodondità
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

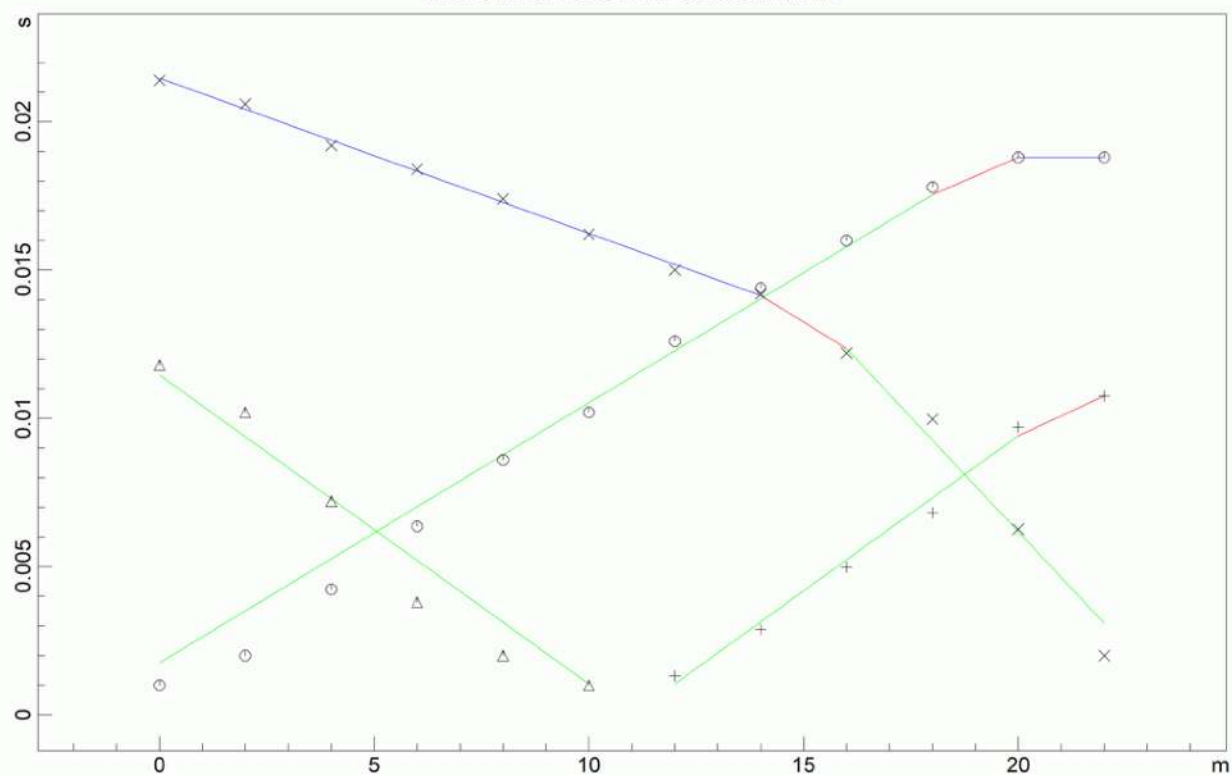
Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Danimarca n. 9 Piazza C. Cavalieri n. 1 - CAP 58100 - GROSSETO

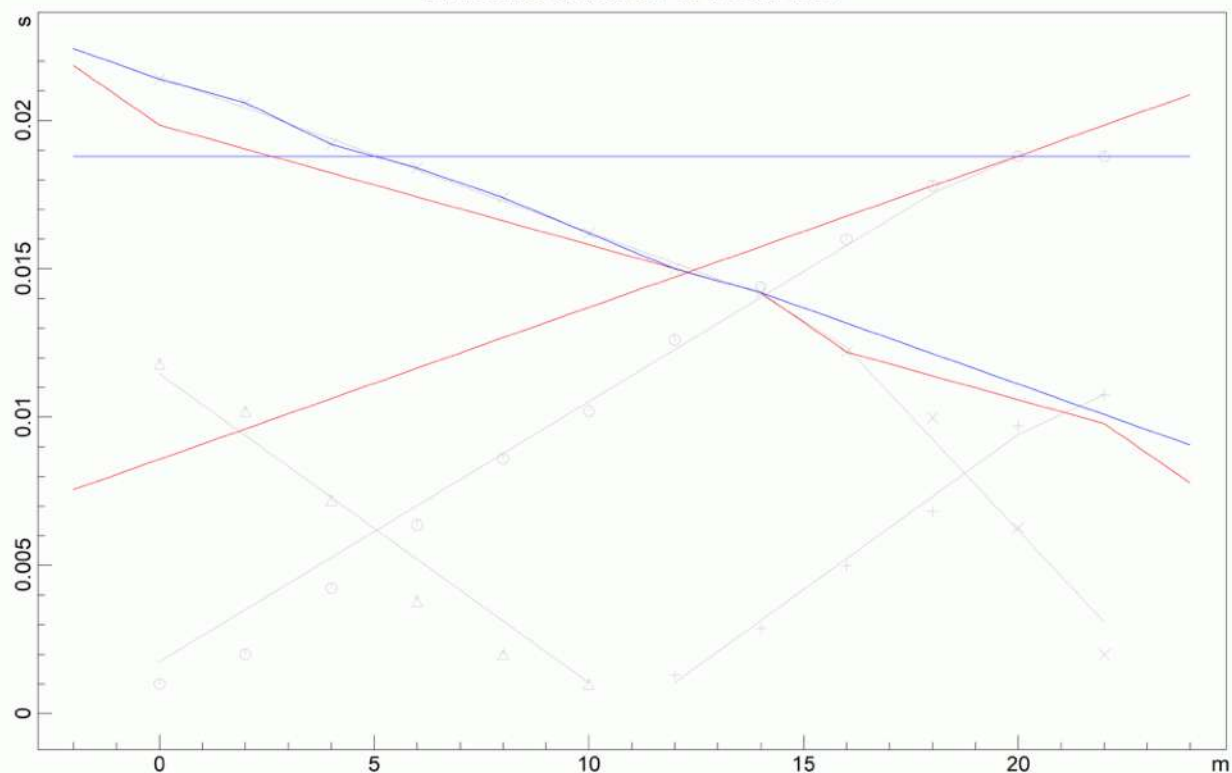
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539

Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

DROMOCRONE ORIGINALI



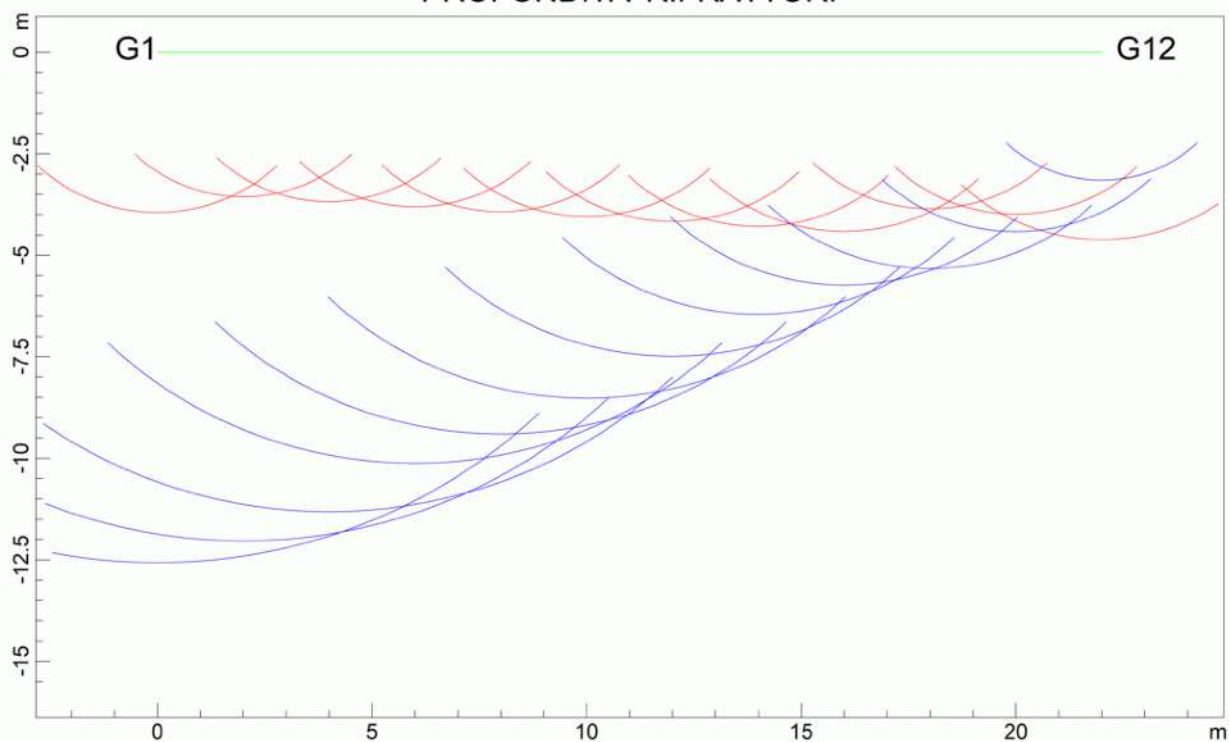
DROMOCRONE TRASLATE



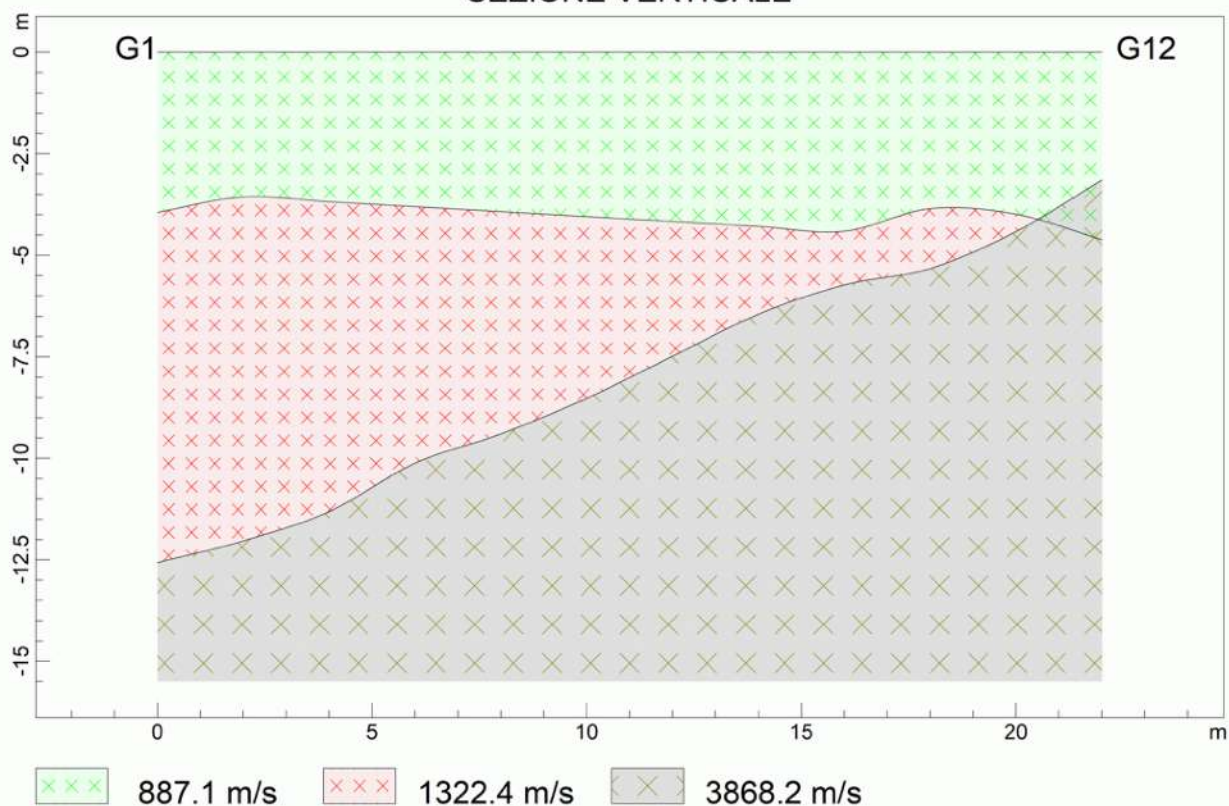
Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Danimarca n. 9 Piazza C. Cavalieri n. 1 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

PROFONDITA' RIFRATTORI



SEZIONE VERTICALE



Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Danimarca n. 9 Piazza C. Cavalieri n. 1 - CAP 58100 - GROSSETO
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539
Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

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" i 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: $V_1 \cdot \sin \alpha = V_2 \cdot \sin \theta$

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (θ_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.

Uccelletti Fabrizio Geologo

V. Danimarca n. 9 Piazza C. Cavalieri n. 1 - CAP 58100 - GROSSETO

C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539

Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

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 diversa distanza 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 una 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 e che si genera lungo la direzione di applicazione dello sforzo medesimo:

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

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 v:

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

$$v = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$$

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:

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

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-rifatta 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

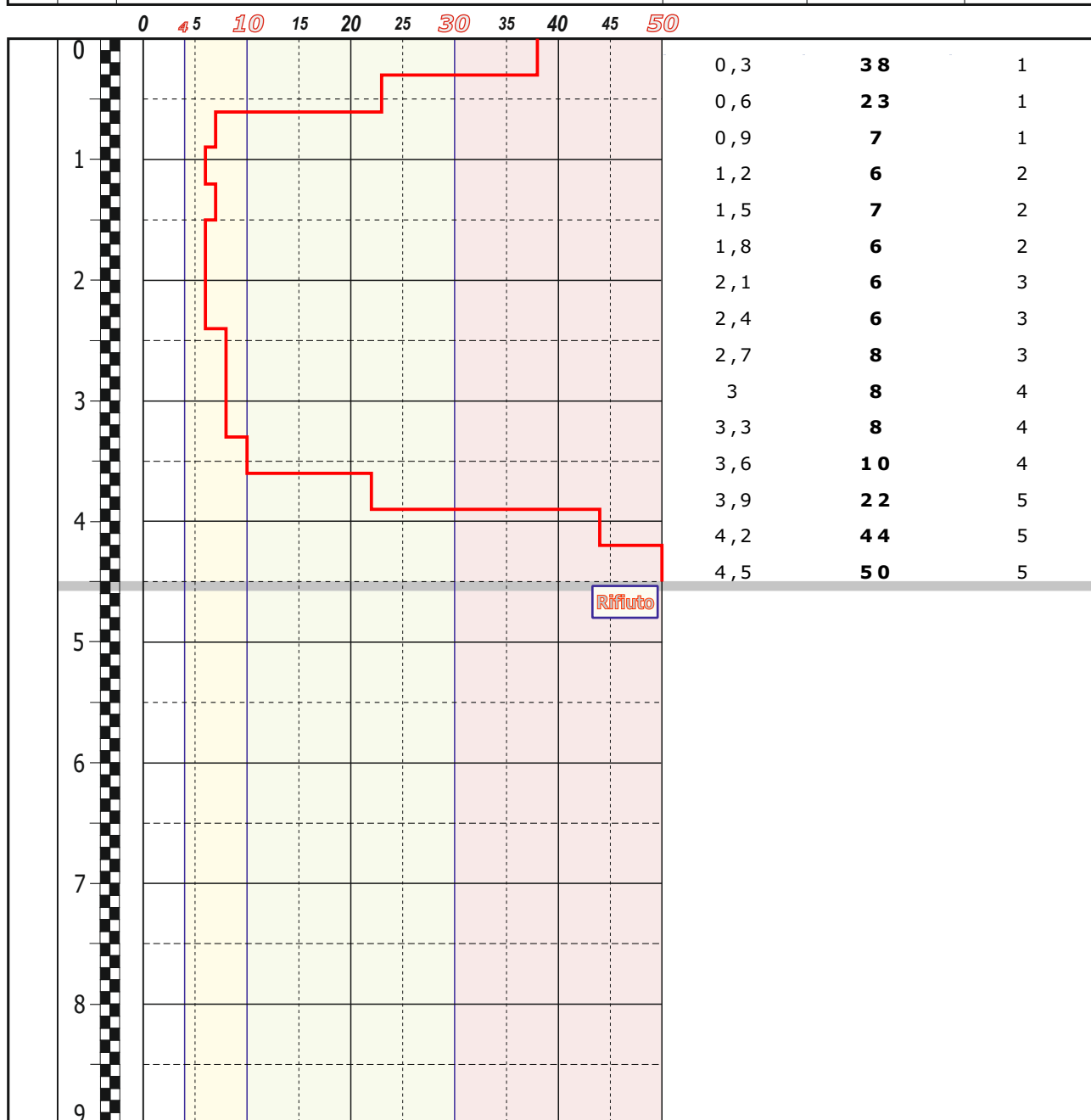
V. Danimarca n. 9 Piazza C. Cavalieri n. 1 - CAP 58100 - GROSSETO

C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539

Cell. 333-7871206 - e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com

Prova penetrometrica dinamica DPSH

Geologo consulente: Dott. Geol. Uccelletti Fabrizio		Ubicazione indagine: Bivio di Caldana, Gavorrano (GR)		Data esecuzione: 31.05.2019	
Penetrometro dinamico super pesante DPSH: maglio M=63,5 Kg, altezza di caduta maglio H=0,75 m, passo di infissione $\delta=0,3$ m diametro base punta conica=50,1 mm - Rivestimento: no.				PROVA DPSH 1	
Valutazione addensamento (secondo norme A.G.I.): ☐ molto sciolto ☐ sciolto ☐ medio ☐ denso		Falda: ☐ no ☒ si Soggiacenza dal p.c.: 0.60 m Note sperimentatore: _____			
Schema costruttivo piezometro	Profondità dal piano campagna	RESTITUZIONE GRAFICA		VALORI DI RESISTENZA	
		Numero dei colpi (N_{30})		Prof. (m)	N_{30} (n)
				Asta (n)	



Caratteristiche piezometro installato

Diametro tubo: _____

Riempimento: _____

Tratto finestrato: _____

Cementazione: _____

COROGRAFIA DI DETTAGLIO



Estratto da Google Earth (09/03/2017)

Coordinate WGS84:
DPSH1 = Lat: 42.903842 - Long: 10.954161

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DPSH1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Descrizione: Località:	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.30 m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1.472
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

Dove:

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

Errore. L'oggetto incorporato non è valido. (*Liao e Whitman 1986*)

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

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

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

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

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori

rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (– s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

Errore. L'oggetto incorporato non è valido.

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni $< 8-10$ t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito $< 38^\circ$.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito $< 38^\circ$).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

-
- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

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

Modulo di deformazione di taglio (G)

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

Modulo di reazione (K_0)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

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

- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cm^2)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...	DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data	31/05/2019
Profondità prova	4.50 mt
Falda rilevata	

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.N.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.30	38	0.703	187.05	266.18	9.35	13.31
0.60	23	0.747	110.46	147.87	5.52	7.39
0.90	7	0.842	37.87	45.00	1.89	2.25
1.20	6	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.50	7	0.831	34.56	41.58	1.73	2.08
1.80	6	0.826	29.45	35.64	1.47	1.78
2.10	6	0.822	29.29	35.64	1.46	1.78
2.40	6	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.70	8	0.813	35.90	44.17	1.80	2.21
3.00	8	0.809	35.72	44.17	1.79	2.21
3.30	8	0.805	35.54	44.17	1.78	2.21
3.60	10	0.801	41.30	51.57	2.07	2.58
3.90	22	0.697	79.10	113.45	3.96	5.67
4.20	44	0.594	134.71	226.91	6.74	11.35
4.50	50	0.590	142.80	241.90	7.14	12.09

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	18.16	0	Incoerente - coesivo	0	2.13	2.27	0.06	1.47	26.73	Strato
3.6	5.15	0	Incoerente - coesivo	0	1.88	1.9	0.26	1.47	7.58	Strato
4.5	18.87	0	Incoerente - coesivo	0	2.14	2.3	0.44	1.47	27.78	Strato

Liquefazione Metodo di Shi-Ming (1982)

Strato	VII Nspt critico	VIII Nspt critico	IX Nspt critico	X Nspt critico	Condizione
Strato 1	0	0	0	0	
Strato 2	6.15	10.25	16.4	24.6	Liquefazione possibile al VIII° Mercalli
Strato 3	6.555	10.925	17.48	26.22	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1)	26.73	0.00-0.60	Terzaghi-Peck	1.80

Strato				
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	Terzaghi-Peck	0.47
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Terzaghi-Peck	1.88

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	Robertson (1983)	53.46
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	Robertson (1983)	15.16
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Robertson (1983)	55.56

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	274.42
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	79.10
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	285.13

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	Apollonia	267.30
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	Apollonia	75.80
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Apollonia	277.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	Meyerhof	2.13
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	Meyerhof	1.88
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Meyerhof	2.14

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	Meyerhof	2.27
Strato (2)	7.58	0.60-3.60	Meyerhof	1.90

Strato				
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Meyerhof	2.30

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	95.74
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	112.07
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	152.23

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Meyerhof 1957	100
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Meyerhof 1957	59.02
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Meyerhof 1957	90.84

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Meyerhof (1956)	27.64
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Meyerhof (1956)	22.17
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Meyerhof (1956)	26.11

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Bowles (1982) Sabbia Media	208.65
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Bowles (1982) Sabbia Media	181.95

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	82.37
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	43.03
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	71.40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Terzaghi-Peck 1948	1.67
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Terzaghi-Peck 1948	1.45
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Terzaghi-Peck 1948	1.61

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Terzaghi-Peck 1948	2.04
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Terzaghi-Peck 1948	1.90
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Terzaghi-Peck 1948	2.00

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	(A.G.I.)	0.3
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	(A.G.I.)	0.34
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Ohsaki (Sabbie pulite)	1426.57
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Ohsaki (Sabbie pulite)	436.32
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Ohsaki (Sabbie pulite)	1156.94

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Ohta & Goto (1978) Limi	95.74
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Ohta & Goto (1978) Limi	112.07
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Ohta & Goto (1978) Limi	152.23

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_v / \sigma_h$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Navfac 1971-1982	5.14
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Navfac 1971-1982	1.57
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Navfac 1971-1982	4.29

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (1) Strato	26.73	0.00-0.60	26.73	Robertson 1983	53.46
Strato (2) Strato	7.58	0.60-3.60	7.58	Robertson 1983	15.16
Strato (3) Strato	27.78	3.60-4.50	21.39	Robertson 1983	42.78

Indice

1.PROVA ... Nr.1	10
1.1.Coesione non drenata	11
1.2.Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	11
1.3.Modulo Edometrico	11
1.4.Modulo di Young	11
1.5.Classificazione AGI	11
1.6.Peso unità di volume	12
1.7.Peso unità di volume saturo	12
1.8.Velocità onde di taglio	12
1.9.Densità relativa	12
1.10.Angolo di resistenza al taglio	12
1.11.Modulo di Young	13
1.12.Modulo Edometrico	13
1.13.Classificazione AGI	13
1.14.Peso unità di volume	13
1.15.Peso unità di volume saturo	13
1.16.Modulo di Poisson	13
1.17.Modulo di deformazione a taglio dinamico	14
1.18.Velocità onde di taglio	14
1.19.Liquefazione	14
1.20.Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$	14
1.21.Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)	14
Indice	15

Corografia e inquadramento

Comune di Gavorrano - Bivio di Caldana



Regione Toscana



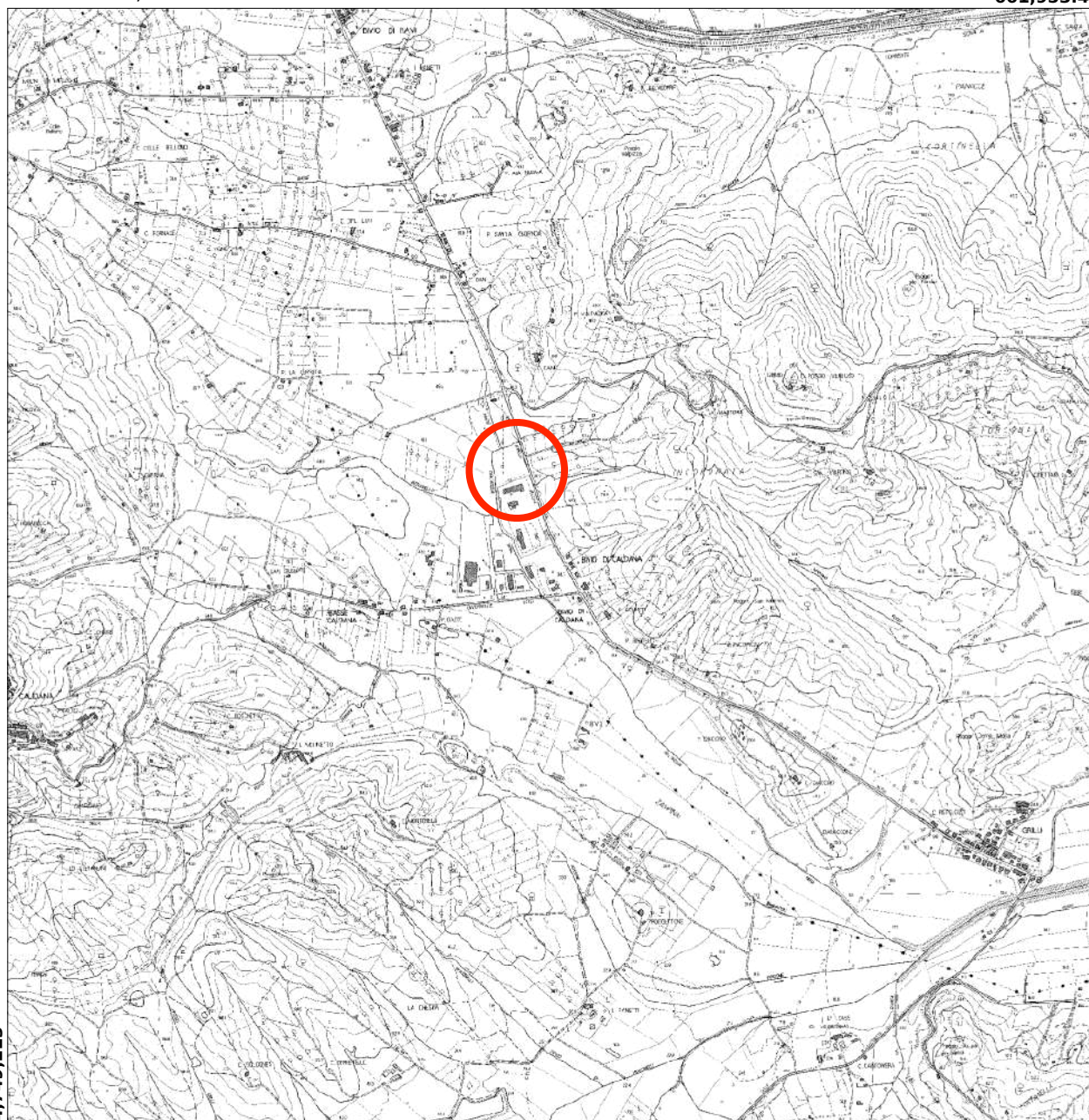
MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI

Cartografia del PIT con valenza di Piano Paesaggistico

Scala 1 : 25,000

661,953.4

4,753,896



4,749,223

657,411.1

EPSG:25832



Regione Toscana

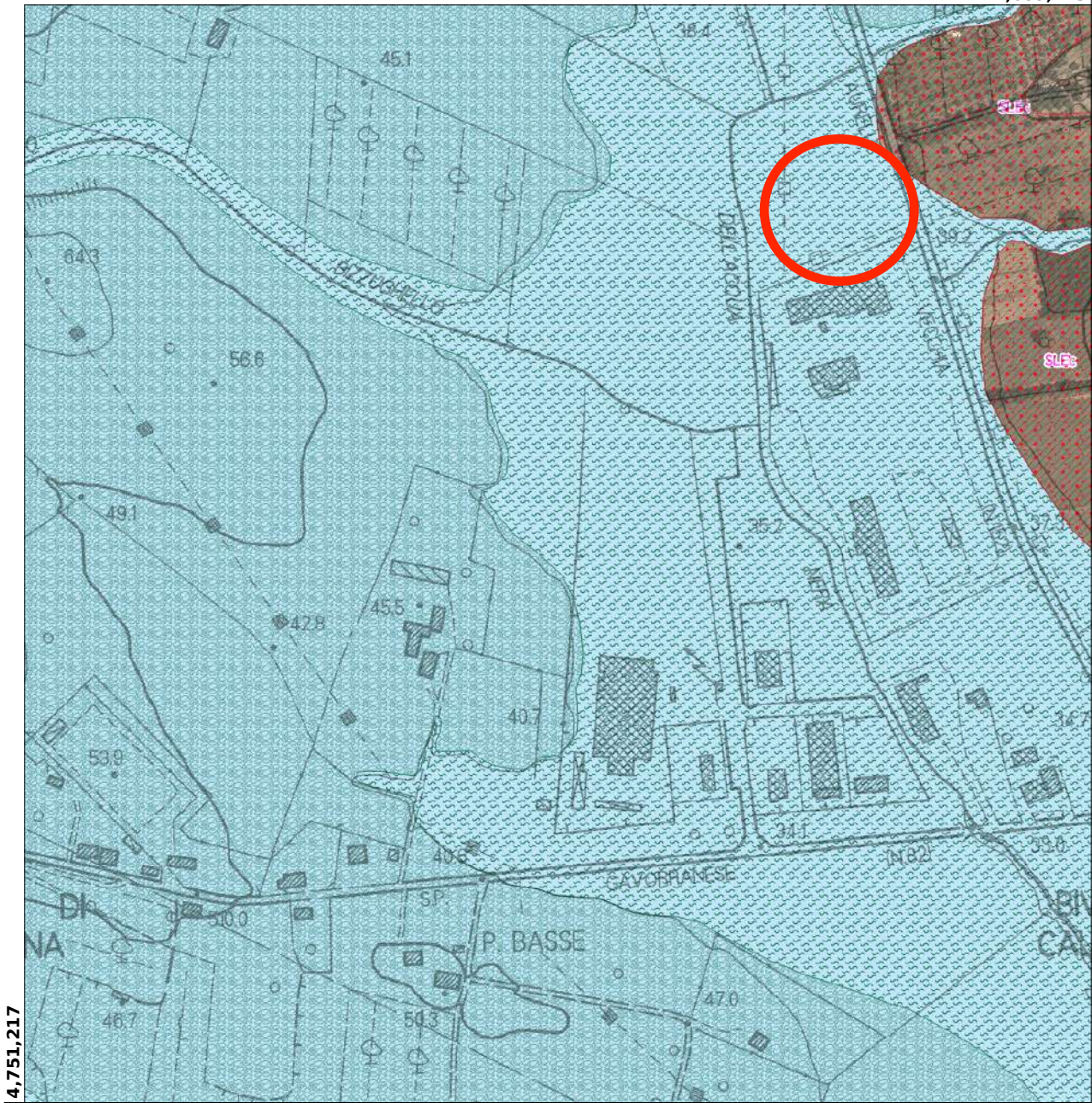


Regione Toscana - DB Geologico

Scala 1 :5,000

1,659,773

4,752,151



4,751,217

1,658,865

EPSG:3003

Unita geologica areale

- ANL - Calcari 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 LADINICO - CARNICO
- VEUa - Formazione della Verruca: Membro delle Anagenici

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 Gavorrano - Bivio di Caldana

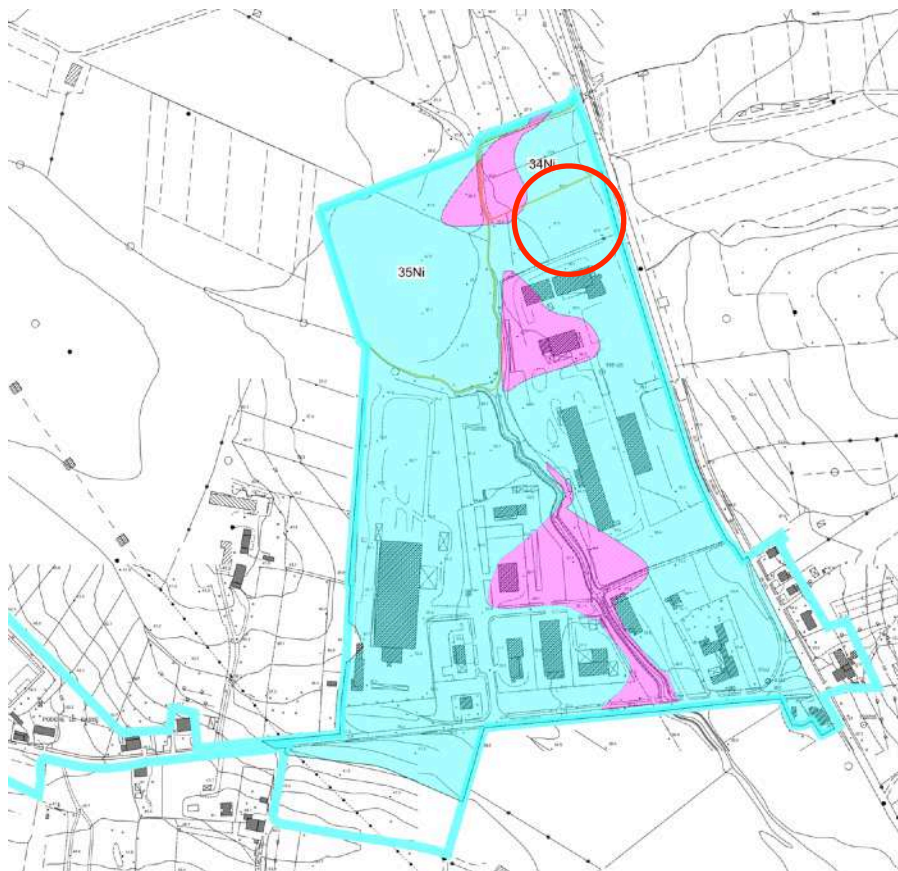
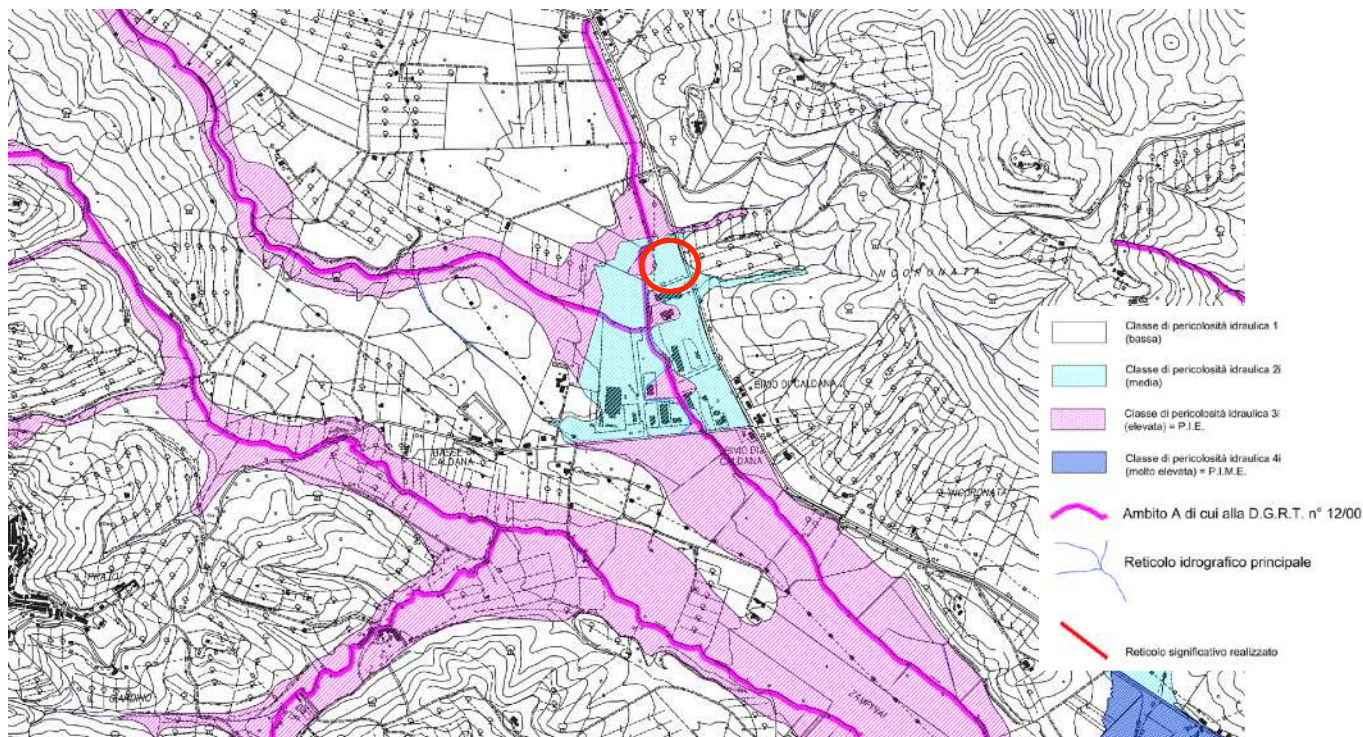


LEGENDA:

- | | |
|--|---|
|  | Classe di pericolosità 1g
(bassa) |
|  | Classe di pericolosità 2g
(media) |
|  | Classe di pericolosità 3g
(elevata) = P.F.E. |
|  | Classe di pericolosità 4g
(molto elevata) = P.F.M.E. |

Pericolosità IDRAULICA

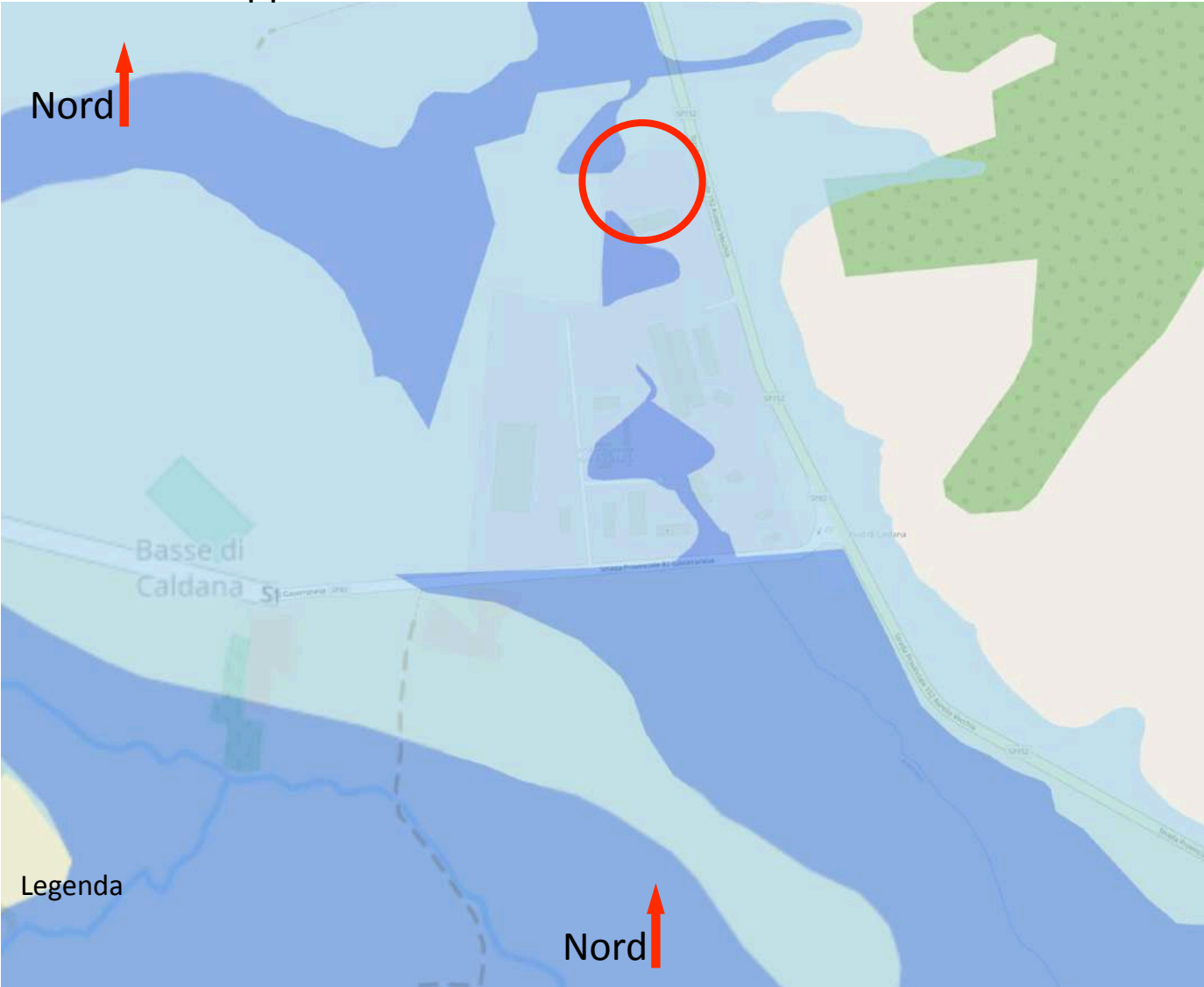
Comune di Gavorrano - Bivio di Caldana



LEGENDA:

- Fattibilità senza particolari limitazioni F1
- Fattibilità con normali vincoli F2g
- Fattibilità con normali vincoli F2i
- Fattibilità condizionata F3g
- Fattibilità condizionata F3i
- Fattibilità limitata F4g
- Fattibilità limitata F4i

Estratto di mappa - PGRA



PGRA_ITC_Fluvial

- 1
- 2
- 3

PGRA_ITC_Coast

- 1
- 2
- 3

Carta Topografica

Scala 1:10000

331020

CTR 1:10000

UBICAZIONE POZZI



Ubicazione di pozzi limitrofi

Fonte: Database Regione Toscana

Difesa del suolo Regione Toscana

Comune di Gavorrano - Bivio di Caldana

Reticolo Enti Gestori
Fosso dell'acqua nera



http://geoportale.lamma.rete.toscana.it/reticolo_enti_gestori/index.html

Legenda

Reticolo di gestione LR 79/2012 aggiornato con DGRT 899/2018

- Tratto in gestione
- Tratto non in gestione

Reticolo idrografico LR 79/2012 aggiornato con DGRT 899/2018

- SI
- NO (ALTRO RETICOLO)
- TOMBATO

OFC 2016 20cm - 32 bit colore - RGB

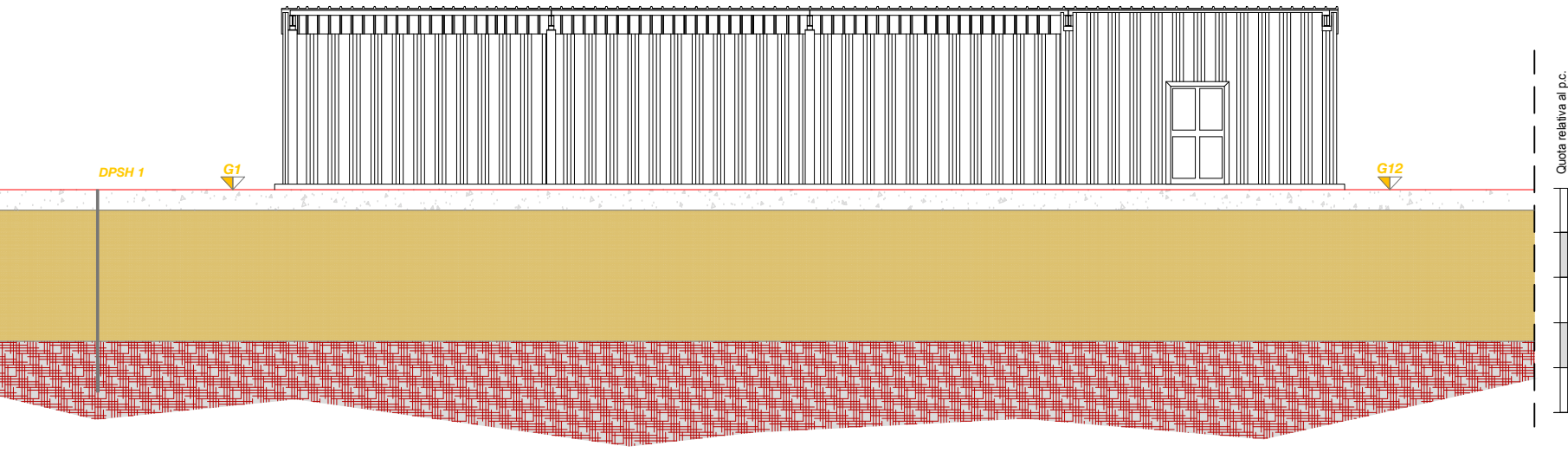
Nord ↑

PLANIMETRIA UBICATIVA
DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO



Modello LITOSTRATIGRAFICO

Scala 1:100
PROSPETTO FRONTALE
Modello Geotecnico dei livelli nel sottosuolo



LEGENDA LITOLOGIE

- TERRENO di RIPORTO terreno antropizzato e di riporto e fortemente costipato.
- ARGILLE LIMOSE CON SABBIA, di colore marrone rossastro.
- LIMI E SABBIE con GHIAIE - Depositi fini misti a depositi colluviali.

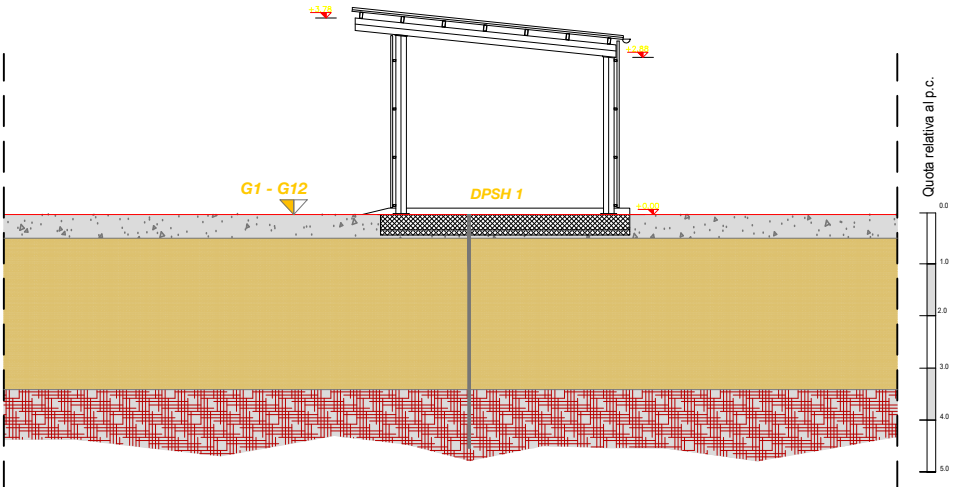
LEGENDA SIMOLISMO

- PROVA SISMICA MASW e GRM
- Sondaggio Geognostico a Carotaggio continuo

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	1.67	27.64	1.8	82.37	208.65	0.3	1426.57	TERRENO di RIPORTO terreno antropizzato e di riporto e fortemente costipato.
3.6	1.45	22.17	0.47	43.03	0.0	0.34	436.32	ARGILLE LIMOSE CON SABBIA, di colore marrone rossastro.
4.5	1.68	27.94	1.88	84.53	213.9	0.3	1479.18	LIMI E SABBIE con GHIAIE - Depositi fini misti a depositi colluviali

Modello LITOSTRATIGRAFICO

Scala 1:100
SEZ. A-A
Modello Geotecnico dei livelli nel sottosuolo



Inquadramento Area di intervento



T1

DATA

MAGGIO
2019

OGGETTO: PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVO CENTRO DI RACCOLTA
LOCALITA': Caidano - Loc. Bosse di Caidano
COMMITTENZA: 2.TOSCANA

Geol. Uccelletti Fabrizio
Via Irlanda n. 4 - 58100 - GROSSETO
Mob. +393337871206 - Tel. 0564411645
C.F. CCLFRZ80S28E202L - Piva 01490130539
PERSONAL e-mail: uccelletti.fabrizio@gmail.com
PEC mail: uccelletti.fabrizio@epap.sicurezza postale.it

