

RELAZIONE GEOLOGICA

RELAZIONE GEOLOGICA RELAZIONE GEOTECNICA RELAZIONE SISMICA

COMMITTENTE:
Comune di Grosseto

SETTORE:
Lavori Pubblici

SERVIZIO:
Servizio edilizia istituzionale, scolastica e beni vincolati.

COMUNE DI GROSSETO
DICEMBRE 2018

OGGETTO: INDAGINE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Relazione Geologica e parametrizzazione Geotecnica di supporto alle verifiche statiche e sismiche del fabbricato denominato "Ex Garibaldi" posto in via Mameli a Grosseto - CIG: ZBD25CF4EB



RELAZIONE GEOLOGICA

Relazione Geologica

Premessa

Inquadramento Giuridico (Ambiti e Vincoli territoriali)

Rischio Sismico

Rischio idraulico e Geomorfologico

Geomorfologia

Geologia

Idrogeologia

Litotecnica

Considerazioni conclusive

PREMESSA

Su incarico e per conto del **Comune di Grosseto** con **Determinazione dirigenziale n. 2231 del 20/11/2018**, e facendo seguito all'incarico di "..redazione della Relazione Geologica e Parametrizzazione Geotecnica di supporto alle verifiche statiche e sismiche del fabbricato denominato "EX Garibaldi" posto in via Mameli in Grosseto" ... 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.

Le **opere in oggetto**, come descritto con maggior dettaglio negli elaborati redatti dal tecnico progettista incaricato, consistono nella **"Relazione Geologica e parametrizzazione Geotecnica di supporto alle verifiche statiche e sismiche del fabbricato denominato "Ex Garibaldi" posto in via Mameli a Grosseto - CIG: ZBD25CF4EB "**. Inoltre vi sono due nuove realizzazioni che consistono nella realizzazione di una scala di emergenza e di un vano interrato per l'installazione dell'ascensore.

L'area in esame si trova all'interno dell'area urbana del **Comune di Grosseto**, sito in angolo tra **Via G. Mameli, Via Merano e Via Renato Fucini** - nei pressi della Stazione Ferroviaria di Grosseto, Comune di Grosseto.

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..
- Realizzazione di N. 2 Prova Penetrometrica Statica CPT
- Realizzazione di N. 2 Prove sismodinamiche MASW e determinazione del Vs30
- Realizzazione di N. 2 Prove sismostratigrafiche in onde P
- 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:

- Decreto Ministeriale 14.01.2008 "Testo Unitario Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive modifiche ed integrazioni;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale" Allegato al voto n.36 del 27.07.2007;
- Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici(stesura finale 2003);

- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali.-UNI;
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002).UNI;

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 Grosseto** e del **Regolamento Urbanistico** del Comune di Grosseto.

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 Grosseto, 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 nel **Piano Strutturale** in uso dal comune di **Grosseto**, l'area in esame non ricade nelle zone a **Pericolosità Idraulica** è infatti inserita nella classe **Pericolosità Idraulica IIIb Pericolosità Media**, e non ricade neanche nelle zone a **Pericolosità Geomorfologica** è infatti inserita nella classe **Pericolosità Geologica Bassa - Classe II Pericolosità Bassa**.

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

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

Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra 200<Tr500anni.

Fuori dalle unità territoriali organiche elementari (UTOE) potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Pericolosità Geomorfologica G2 - Media (ai sensi del D.P.G.R. 26//2007)

Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

Nell'area di studio, siamo in assenza di effettivi processi geomorfologici (di natura antropica o naturale), che determinano le condizioni di pericolosità elevata, e più in generale, non risulta necessario ricorrere a opera di messa in sicurezza per la realizzazione dell'intervento (quali consolidamenti o bonifica del terreno, mitigazione protezione o sistemazione di fenomeni erosivi o di versante).

GEOMORFOLOGIA

L'area in esame si trova nel **Comune di Grosseto**, ad Sud-Est della stazione di Grosseto. Alla proprietà della committenza, posta ad una quota di circa 11 metri sul livello del mare, si accede tramite la viabilità urbana dell'abitato di Grosseto da **Via Goffredo Mameli**.

Il comprensorio oggetto di studio, è interamente ubicato all'interno della **pianura grossetana**. Tale pianura si può definire costiera, in quanto essa è costituita in gran parte da materiali alluvionali (Fiume Ombrone e Fiume Bruna) ed in parte minore da sedimenti di transizione fra l'ambiente continentale costiero e l'ambiente marino. Queste aree, un tempo sede di malsane paludi, sono state prosciugate attraverso **opere di bonifica**, condotte secondo la tecnica per colmata e tramite una estesa rete di canali. Marginalmente è evidente un insieme di rilievi collinari, piuttosto continui, aventi quote altimetriche costanti.

Dal punto di vista idrografico la zona in esame è attraversata dal corso d'acqua principale il fiume **OMBRONE**, che offre una serie di meandri di dimensioni piuttosto variabili. La grande massa di materiale

solido trasportato dal fiume, rispetto ad una contenuta portata liquida, e la bassissima pendenza del suo alveo rendono assai lento, in quest'area, il movimento delle sue acque.

In conclusione, si può affermare che, dal punto di vista geomorfologico, data la configurazione morfologica e la litologia dei terreni affioranti e grazie ai dati ottenuti tramite rilievi di campagna, dati bibliografici, analisi cartografiche, ***l'area sede dell'intervento non è interessata da dissesti attivi o potenziali tali da compromettere o limitare l'uso dell'opera, né tanto meno è interessata da processi di carattere erosivo legati al ruscellamento superficiale.***

GEOLOGIA

Le caratteristiche geologiche della zona in studio sono state dedotte dalla documentazione ufficiale del Servizio Geologico d'Italia in scala 1:100.000 - foglio n. 128 "Grosseto", dalla nuova cartografia geologica della Regione Toscana in scala 1:10.000, dalla "Carta Geologica" del Piano Strutturale del Comune di Grosseto 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, il cui equilibrio possa essere modificato dall'intervento stesso e/o i cui processi evolutivi possano compromettere l'utilizzazione di quanto in oggetto.

Nell'area di studio affiora la formazione dei Sedimenti alluvionali attuali e recenti: **Argille sabbioso-ciottolose (acg)**.

Qui di seguito vengono descritte le litologie menzionate più altre presenti in un adeguato intorno, appartenenti alle formazioni affioranti in zona:

Dal database della regione toscana il sedimento presente nei luoghi di interesse è definito con la sigla **OLO ALA "bnb"** ovvero "*Depositi alluvionali terrazzati*"

Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali.

- a) Senza indicazione della granulometria
- b) ghiaie prevalenti
- c) ghiaie e sabbie
- d) sabbie prevalenti
- e) sabbie e limi
- f) limi e argille prevalenti
- g) ghiaie e limi

Sedimenti alluvionali attuali e recenti

(ag): ghiaie in matrice argillosa

(aa): marcano i drenaggi minori delle zone pianeggianti e ricoprono quasi tutta la piana di Grosseto. Sono costituiti da lenti ciottolose e sabbiose immerse in una matrice prevalentemente limoso-argillosa. Si tratta di un deposito caratterizzato da ciottoli eterometrici di Macigno, generalmente sub-sferici, con abbondante matrice sabbiosa, di colore giallo-marroncino a granulometria medio-fine, che localmente è prevalente; sono inoltre presenti sporadici ciottoli arrossati che sono stati rimobilizzati dai sedimenti pleistocenici presenti a quote superiori. Questi sedimenti sono diffusi in corrispondenza del fosso Salica, nonché presso i corsi d'acqua minori.

(as): Limi sabbioso-argillosi, che costituiscono la fascia di deposizione attuale del fiume Ombrone, in parte controllata dalle arginature.

(acg): Argille sabbioso-ciottolose, in assetto generalmente rilevato rispetto ai terreni tipici di bonifica (non quelli cosiddetti di gronda). Si tratta di materiale grossolano ghiaioso e talora ciottoloso immerso in matrice sabbioso-argillosa, quest'ultima a luoghi prevalente.

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 **Tavola 7 "Carta della Permeabilità"** del Piano Strutturale che individua il sito come **MP-P "Unità litologica a permeabilità media per porosità"**.

Il **LIVELLO STATICO DI FALDA** nella zona di indagine *si attesta solitamente ad una quota di $\geq 5,20$ m dal p.c. in livelli inturgiditi con le argille e limi.*

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 ed a ristagno di acqua. Il drenaggio superficiale è ad oggi gestito dalla scarsa pendenza del piazzale e dalla presenza di alcune opere che convogliano le acque meteoriche. esistono comunque alcune aree a verde che permettono un naturale percorso di infiltrazione delle acque nel sottosuolo.

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**.

Dati gli interventi in progetto, è consigliabile anche un intervento sulla rete di raccolta delle acque al fine di regimare al meglio le acque che ricadono nel piazzale verso la rete di drenaggio locale per lo smaltimento delle acque meteoriche verso la fognatura.

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 **Grosseto** nella "**Carta Litotecnica**" conferma quanto detto, definendo l'area di intervento in **Classe F - "terre coesive a medio bassa consistenza"**. A tale classe appartengono le formazioni appartenenti all'**Unità 5** - Unità dei depositi alluvionali recenti a granulometria prevalentemente fine con comportamento geotecnica variabile, generalmente dotati di basse caratteristiche meccaniche.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

| CONCLUSIONI RELAZIONE GEOLOGICA | |
|---------------------------------|--|
| MODELLO GEOLOGICO | Il terreno oggetto di studio è stato individuato come appartenente alla formazione dei Sedimenti alluvionali attuali e recenti: argille e argille limose con livelli di limi sabbiosi contenenti acqua. |
| DISSESTI GEOMORFOLOGICI | Nello specifico del sito in esame non sono presenti lineamenti di dissesto geomorfologico attivo e/o quiescente |
| MODELLO GEOLOGICO STRUTTURALE | Non sono visibili alla scala di indagine lineamenti tettonici e/o strutture sepolte legate a tettonica attiva |
| FALDA | Falda rilevata a quote inferiori al 5,23 m rispetto al p.c. il dato è stato rilevato con prove dirette. |
| PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA | Pericolosità Geologica Bassa Classe 2 Pericolosità Bassa dal P.S.C. Pericolosità Geologica Media (Classe G.2) dal R.U.C. |

| CONCLUSIONI RELAZIONE GEOLOGICA | |
|--|---|
| PERICOLOSITA' IDRAULICA | Pericolosità Idraulica Classe IIIb Pericolosità Media dal P.S.C. Pericolosità Idraulica Media (Classe I.2) dal R.U.C. |
| OSSERVAZIONI SULLA STRUTTURA | La struttura presenta un cattivo stato di conservazione e una area completamente crollata. Le fondazioni visibili nell'area crollata sono scarse e/o superficiali. Esistono alcune lesioni nella struttura visibili soprattutto nell'area del prospetto su via |
| PROVE GEOGNOSTICHE | Le caratteristiche geotermiche del terreno sono state acquisite tramite due prove geotecniche CPT . La determinazione del Vs30 è stata acquisita tramite due Prove Sismodinamiche MASW . La geometria del terreno è stata ottenuta da due Prove Sismiche a Rifrazione con onde P elaborate con metodologia GRM . |

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. 2 |
| Rischio idraulico | classe n. 2 |
| Vulnerabilità delle falde acquifere | classe n. 2 |

Verifica statica e sismica

La zona ha dimostrato una non completa omogeneità delle strutture sepolte, ma sono state riscontrate limitazioni all'utilizzo della struttura nella destinazione d'uso di progetto, ulteriori valutazioni possono essere prese in considerazione al verificarsi di indizi di usura della struttura o del mutamento delle condizioni di vita nominale, tale accertamento è possibile mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.




RELAZIONE GEOTECNICA

Relazione Geotecnica

Normativa geotecnica

Rapporto terreno struttura

Programma delle indagini e delle prove geotecniche

Determinazione dei valori caratteristici f_k

Quadro di sintesi geotecnica

Conclusioni

NORMATIVA GEOTECNICA

Il presente studio prevede le indagini geognostiche in **Via Goffredo Mameli - Grosseto per la** verifica della struttura esistente dal punto di vista statico e sismico, in oltre saranno realizzate nuove strutture, tra le quali assume maggiore rilevanza l'intervento di nuova realizzazione di una scala di emergenza e di un vano interrato per l'installazione di un ascensore e opere accessorie.

Come espresso dalla normativa vigente, la presente **Relazione Geotecnica** affronta le seguenti argomentazioni: la descrizione delle opere e degli interventi; la descrizioni 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 analizzata e valutata numero 2 Prove Penetrometriche Statica CPT (effettuata nel sito di interesse) e due prove sismiche (due prove sismiche M.A.S.W. e due prove sismiche a rifrazione in onde P con elaborazione GRM) realizzata in prossimità della struttura per verificare i parametri relativi alla categoria di sottosuolo e la sismostratigrafia dei primi orizzonti di suolo.

I luoghi, sono tipicamente urbani con strade e poche aree a verde, anche il le aree oggetto di studi sono difficilmente accessibili per una meticolosa indagine dei sottostanti terreni di natura argillosa. Considerato che la struttura è esistente, non è ottenere dati al di sotto dell'impronta del fabbricato. Si riportano comunque in allegato dati di precedenti studi fatti a sostegno di interventi strutturali sull'edificio.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Infatti, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto.

COMUNE DI GROSSETO

ZONA SISMICA 4 OPCM 3519/06 - del GRT 431/06

ag (TR=475anni) del capoluogo (in g/10) 0,700

Valori dei parametri caratteristici per il calcolo delle azioni sismiche

latitudine: 42,767832
longitudine: 11,109325
Classe: 3
Vita nominale: 50

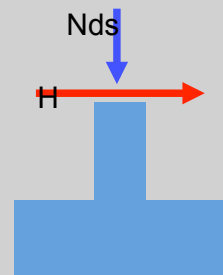
| | | | | |
|--------|-----------|--------------|--------------|--------------------|
| Sito 1 | ID: 24496 | Lat: 42,7603 | Lon: 11,1063 | Distanza: 877,816 |
| Sito 2 | ID: 24497 | Lat: 42,7616 | Lon: 11,1744 | Distanza: 5355,259 |
| Sito 3 | ID: 24275 | Lat: 42,8116 | Lon: 11,1725 | Distanza: 7090,417 |
| Sito 4 | ID: 24274 | Lat: 42,8102 | Lon: 11,1044 | Distanza: 4731,472 |

| | | | | |
|-------------------------|--------|-----------------------------|-------|--------|
| Categoria sottosuolo: | C | Probabilità di superamento: | 10 | % |
| Categoria topografica: | T1 | Tr: | 712 | [anni] |
| Periodo di riferimento: | 75anni | ag: | 0,075 | g |
| Coefficiente cu: | 1,5 | Fo: | 2,779 | |
| | | Tc*: | 0,292 | [s] |



| Stato Limite | Tr [anni] | a _g [g] | F _o | Tc* [s] |
|----------------------------|-----------|--------------------|----------------|---------|
| Operatività (SLO) | 45 | 0.034 | 2.632 | 0.214 |
| Danno (SLD) | 75 | 0.040 | 2.655 | 0.237 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 712 | 0.075 | 2.779 | 0.292 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 1462 | 0.090 | 2.826 | 0.301 |

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 delle caratteristiche geologiche e stratigrafiche 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) Uso dei dati bibliografici pregressi di Prova Penetrometrica Statica, non realizzata all'interno dall'area di intervento, utile per l'acquisizione dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione e per valutare l'eventuale presenza e la quota di rinvenimento dell'acqua di falda superficiale;

CPT 1 - Tabella dei vari caratteristici geotecnici - Modello litotecnico dei livelli indagati

| Liv | Litologia | D _r | φ | C _u | E | E _d | γ | γ _s |
|-----------------|--|--|-------|----------------|-------|----------------|------|----------------|
| 0.00-3.60 | Argille sensitive e terreno rimaneggiato | | | 1.59 | | 63.78 | 2.05 | 2.13 |
| 3.60-13.20 | Terreni coesivi ed incoerenti a grana fine | 22.42 | 20.9 | 1.93 | 77.38 | 77.38 | 2.08 | 2.16 |
| 13.20-14.60 | Terreni incoerenti a grana grossa (Ghiaie - sabbie grossolane) | 17.55 | 19.87 | | 85.14 | 85.14 | 1.80 | 2.10 |
| Falda rinvenuta | | quota rispetto al piano di campagna -7,32 CPT1 | | | | | | |

CPT 2 - Tabella dei vari caratteristici geotecnici - Modello litotecnico dei livelli indagati-

| Liv | Litologia | D _r | φ | C _u | E | E _d | γ | γ _s |
|-----------------|--|--|-------|----------------|--------|----------------|------|----------------|
| 0.00-2.20 | Argille sensitive e terreno rimaneggiato | | | 1.85 | | 111.27 | 2.08 | 2.16 |
| 2.20-9.40 | Terreni coesivi ed incoerenti a grana fine | 42.15 | 23.91 | 2.55 | 102.17 | 86.84 | 2.13 | 2.21 |
| 9.40-10,00 | Terreni incoerenti a grana grossa (Ghiaie - sabbie grossolane) | 43.02 | 23.63 | | 132.00 | 112.20 | 1.90 | 2.20 |
| Falda rinvenuta | | quota rispetto al piano di campagna -5,23 CPT2 | | | | | | |

Parametri Geotecnici

| | |
|----------------|---|
| D _r | densità relativa [%] - Schmertmann |
| φ | angolo di resistenza al taglio espresso in [°] De Beer |
| C _u | coesione non drenata espressa in [kg/cmq] - Terzaghi |
| E _d | modulo edometrico espresso in [kg/cmq] - Metodo generale del modulo edometrico/ |
| E | modulo di young in [kg/cmq] - Robertson & Campanella 1983 |
| γ | peso di volume espresso in [t/mc] |
| γ _s | peso di volume saturo espresso in [t/mc] |

Relazione utilizzate

Densità relativa:

Schmertmann:

$$D_r = -97.8 + 36.6 \ln q_c - 26.9 \ln \sigma'_{v0}, \quad q_c \text{ e } \sigma'_{v0} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}.$$

Angolo di resistenza al taglio:

Koppejan:

$$\phi = 5.8 + 5.21 \ln q_c / \sigma'_{v0}$$

Coesione non drenata:

si utilizza la resistenza alla punta totale:

$$C_u = q_t - \sigma'_{v0} / N_k$$

dove $q_t = q_c + u_z (1-a)$ è la pressione resistenza alla punta corretta, a è il rapporto delle aree, σ_{v0} è la pressione geostatica totale e N_k è il fattore del cono.

Modulo Elastico:

Schmertmann:

$E = \alpha q_t$, dove α è un coefficiente che dipende dal tipo di terreno e q_t è la resistenza alla punta corretta.

Modulo edometrico:

Robertson e Campanella:

$E_d = 0.03 q_t + 11.7 \sigma'_{v0} + 79 D_r$, dove q_t è la resistenza alla punta corretta misurata in Kg/cm², σ'_{v0} è la tensione geostatica efficace misurata in Kg/cm² e D_r è la densità relativa.

Modulo di taglio:

Imai e Tomaichi:

$G = 2.87 q_t^{1.335}$, dove q_t è la resistenza alla punta corretta, misurata in kPa

Tensione di sovracconsolidazione:

Mayne e Holtz:

$\sigma_p = 0.32 (q_t - \sigma_{v0})$, dove q_t è la resistenza alla punta corretta e σ_{v0} è la tensione geostatica totale.

Rapporto di sovracconsolidazione:

Sully:

$OCR = 0.66 + 1.43 (u_1 - u_2 / u_0)$

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, ovverosia di valori ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limiti ultimi considerati per il progetto.

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

LIVELLO 1

| Parametro geotecnico | Valore medio (fm) | Valore car (Xk) | Valore prog (Xd) |
|---|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Φ – angolo di resistenza al taglio (°) | - | - | - |
| Cu – coesione non drenata (kg/cm ²) | 1.72 (kg/cm ²) | 1.0 (kg/cm ²) | 0.7 (kg/cm ²) |

LIVELLO 2

| Parametro geotecnico | Valore medio (fm) | Valore car (Xk) | Valore prog (Xd) |
|---|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Φ – angolo di resistenza al taglio (°) | 22.4° | 21.1° | 17.2° |
| Cu – coesione non drenata (kg/cm ²) | 2.24 (kg/cm ²) | 1.3 (kg/cm ²) | 0.9 (kg/cm ²) |

LIVELLO 3

| Parametro geotecnico | Valore medio (fm) | Valore car (Xk) | Valore prog (Xd) |
|---|-------------------|-----------------|------------------|
| Φ – angolo di resistenza al taglio (°) | 21.7° | 20.0° | 16.2° |
| Cu – coesione non drenata (kg/cm ²) | - | - | - |

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.

I parametri assegnati a ciascun livello sono stati calcolati e adeguatamente corretti, agendo sempre comunque in favore della sicurezza, per tale motivo il modello geotecnico elaborato per la definizione delle unità geotecniche da considerare per i calcoli strutturali, corrisponde al modello geologico sopra riportato.

- 2) Acquisizione di due prove sismodinamiche, tramite profilo sismico a 24 canali, con tecnica M.A.S.W., di analisi spettrale multicanale delle onde superficiali, con determinazione delle velocità delle onde S nei primi 30 m di profondità e parametrizzazione sismodinamica con classificazione del suolo di fondazione, realizzata in un area adiacente a quella di intervento.

Date le risultanze riportate in tabella

Cautelativamente viene assegnata la categoria di sottosuolo C.

MASW 1 - Calcolo del valore medio Vs30 = 392.65 [m/s]

Categoria di Sottosuolo - Classe 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.

MASW 2 - Calcolo del valore medio Vs30 = 355,66 [m/s]

Categoria di Sottosuolo - Classe C

Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180m/s e 360m/s

- 3) Acquisizione di due prove sismostratigrafiche, tramite profilo sismico a 24 canali, con tecnica GRM, di analisi delle onde di volume, con determinazione dei primi arrivi delle onde P. Determinazione degli orizzonti sismostratigrafici del suolo, realizzata in uno stendimento adiacente a quello di intervento caratterizzato dagli stessi contesti geologici geotecnici e geomorfologici. Dallo studio dei rifrattori si osserva un importante passaggio di velocità in corrispondenza della quota 7 m, che probabilmente è attribuibile non solo che ad una significativa variazione litologica ma anche ad una superficie della falda freatica superficiale.

Modello Sismostratigrafico - GRM 1

| | |
|---------------------|-----------|
| Rifrattore 1 | 579,8 m/s |
| Rifrattore 2 | 924,9 m/s |

Modello Sismostratigrafico - GRM 2

| | |
|---------------------|-----------|
| Rifrattore 1 | 379,5 m/s |
| Rifrattore 2 | 615,0 m/s |

QUADRO DI SINTESI GEOTECNICA

- Il volume significativo per la struttura in oggetto non è stato considerato nella caratterizzazione geologica dell'area di studio.
- Quota parametrizzata con valori geotecnici fino a 14,60 m da piano campagna.
- Quota indagata con valori sismodinamici > 30 m da piano campagna.
- Tipologia di sottosuolo del piano di appoggio Argille sensitive e terreno rimaneggiato poco consistenti.
- Livello idrico individuato alla data della prova geotecnica si trova a quota inferiore al 5,23 m dal piano di campagna.

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

COCLUSIONI - OSSERVAZIONI

- Sono presenti sulla facciata del fabbricato alcune lesioni di modesta entità posizionate sulle ampie aperture delle finestre in affaccio su Via Mameli, rimane da verificare se l'origine delle stesse sia da attribuirsi a cause legate alla componente strutturale o legate a possibili cedimenti dei suoli di fondazione.

Geol. Fabrizio UCCELLETTI



ALLEGATI

PROVE GEOTECNICHE
PROVA SISMODINAMICE MASW
PROVA SISMOSTRATIGRAFICA GRM
INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO
TAVOLA CON MODELLO GEOTECNICO

Prova penetrometrica statica CPT

| | | |
|--|--|---------------------------------------|
| Geologo consulente: Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti | Ubicazione indagine: Via Goffredo Mameli n°15, in Grosseto (GR) | Data esecuzione: 11.12.2018 |
| Penetrometro statico PAGANI TG63-200 con spinta di 200 KN e dispositivo di misura costituito da cella di carico elettrica con display digitale - Prova eseguita con punta Begemann ed anello allargatore ad 1 m dalla punta. | | PROVA CPT I |
| Quota (m) s.l.m.: _____ | Falda: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si Soggiacenza dal p.c.: <u>7.32 m</u> | Note sperimentatore: _____ |

| Schema costruttivo piezometro | Prof. (metri) | Lpunta | Lp+m | Rpunta | Rlater. | Rp/RI | Litologia Begemann (1965) |
|-------------------------------|---------------|--------|------|--------|---------|-------------------------------|---------------------------|
| | | kg/cm² | | kg/cm² | | | |
| | 0,2 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | | Stima non eseguibile |
| | 0,4 | 0 | 0 | 0,0 | 1,1 | 0,0 | Stima non eseguibile |
| | 0,6 | 19 | 36 | 19,0 | 1,8 | 10,6 | Torbe - Argille Torbose |
| | 0,8 | 20 | 47 | 20,0 | 1,5 | 13,6 | Torbe - Argille Torbose |
| | 1,0 | 18 | 40 | 18,0 | 1,1 | 15,9 | Argille |
| | 1,2 | 18 | 35 | 18,0 | 1,3 | 13,5 | Torbe - Argille Torbose |
| | 1,4 | 24 | 44 | 24,0 | 1,1 | 21,2 | Argille |
| | 1,6 | 31 | 48 | 31,0 | 1,6 | 19,4 | Argille |
| | 1,8 | 30 | 54 | 30,0 | 1,9 | 16,1 | Argille |
| | 2,0 | 45 | 73 | 45,0 | 3,3 | 13,5 | Torbe - Argille Torbose |
| | 2,2 | 48 | 98 | 48,0 | 4,1 | 11,8 | Torbe - Argille Torbose |
| | 2,4 | 49 | 110 | 49,0 | 2,7 | 18,4 | Argille |
| | 2,6 | 62 | 102 | 62,0 | 2,3 | 26,6 | Argille - Argille Limose |
| | 2,8 | 60 | 95 | 60,0 | 3,9 | 15,3 | Argille |
| | 3,0 | 50 | 109 | 50,0 | 3,3 | 15,3 | Argille |
| | 3,2 | 44 | 93 | 44,0 | 1,9 | 22,8 | Argille |
| | 3,4 | 32 | 61 | 32,0 | 1,6 | 20,0 | Argille |
| | 3,6 | 24 | 48 | 24,0 | 1,1 | 21,2 | Argille |
| | 3,8 | 41 | 58 | 41,0 | 1,3 | 32,4 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 4,0 | 48 | 67 | 48,0 | 1,3 | 36,0 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 4,2 | 35 | 55 | 35,0 | 2,0 | 17,5 | Argille |
| | 4,4 | 37 | 67 | 37,0 | 1,9 | 19,1 | Argille |
| | 4,6 | 38 | 67 | 38,0 | 1,7 | 22,8 | Argille |
| | 4,8 | 39 | 64 | 39,0 | 1,4 | 27,9 | Argille - Argille Limose |
| | 5,0 | 36 | 57 | 36,0 | 1,0 | 36,0 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 5,2 | 39 | 54 | 39,0 | 1,9 | 20,9 | Argille |
| | 5,4 | 56 | 84 | 56,0 | 2,1 | 26,3 | Argille - Argille Limose |
| | 5,6 | 57 | 89 | 57,0 | 2,3 | 24,4 | Argille |
| | 5,8 | 57 | 92 | 57,0 | 3,2 | 17,8 | Argille |
| | 6,0 | 56 | 104 | 56,0 | 1,5 | 38,2 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 6,2 | 52 | 74 | 52,0 | 2,0 | 26,0 | Argille - Argille Limose |
| | 6,4 | 42 | 72 | 42,0 | 2,2 | 19,1 | Argille |
| | 6,6 | 37 | 70 | 37,0 | 1,5 | 24,1 | Argille |
| | 6,8 | 31 | 54 | 31,0 | 1,1 | 29,1 | Argille - Argille Limose |
| 7,0 | 33 | 49 | 33,0 | 0,7 | 45,0 | Limi Sabbiosi - Sabbie Limose | |
| 7,2 | 26 | 37 | 26,0 | 0,7 | 39,0 | Limi - Argille Sabbiose | |
| 7,4 | 20 | 30 | 20,0 | 0,9 | 23,1 | Argille | |
| 7,6 | 39 | 52 | 39,0 | 1,0 | 39,0 | Limi - Argille Sabbiose | |
| 7,8 | 35 | 50 | 35,0 | 1,3 | 26,3 | Argille - Argille Limose | |
| 8,0 | 16 | 36 | 16,0 | 0,5 | 34,3 | Limi - Argille Sabbiose | |

Caratteristiche piezometro installato

Diametro tubo: _____
 Riempimento: _____

Tratto finestrato: _____
 Cementazione: _____

Prova penetrometrica statica CPT

| | | |
|--|--|---------------------------------------|
| Geologo consulente: Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti | Ubicazione indagine: Via Goffredo Mameli n°15, in Grosseto (GR) | Data esecuzione: 11.12.2018 |
| Penetrometro statico PAGANI TG63-200 con spinta di 200 KN e dispositivo di misura costituito da cella di carico elettrica con display digitale - Prova eseguita con punta Begemann ed anello allargatore ad 1 m dalla punta. | | PROVA CPT I |
| Quota (m) s.l.m.: _____ | Falda: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si Soggiacenza dal p.c.: <u>7.32 m</u> | Note sperimentatore: _____ |

| Schema costruttivo piezometro | Prof. (metri) | Lpunta | Lp+m | Rpunta | Rlater. | Rp/RI | Litologia Begemann (1965) |
|-------------------------------------|------------------|--------|------|--------|---------|-------|---------------------------------|
| | | kg/cm² | | kg/cm² | | | |
| | 8,2 | 18 | 25 | 18,0 | 0,6 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 8,4 | 19 | 28 | 19,0 | 1,6 | 11,9 | Torbe - Argille Torbose |
| | 8,6 | 28 | 52 | 28,0 | 1,7 | 16,8 | Argille |
| | 8,8 | 45 | 70 | 45,0 | 1,8 | 25,0 | Argille - Argille Limose |
| | 9,0 | 44 | 71 | 44,0 | 1,1 | 41,2 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 9,2 | 19 | 35 | 19,0 | 0,6 | 31,7 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 9,4 | 22 | 31 | 22,0 | 0,7 | 33,0 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 9,6 | 30 | 40 | 30,0 | 0,3 | 90,1 | Sabbie fini - Sabbie con Ghiaia |
| | 9,8 | 30 | 35 | 30,0 | 1,2 | 25,0 | Argille - Argille Limose |
| | 10,0 | 30 | 48 | 30,0 | 1,4 | 21,4 | Argille |
| | 10,2 | 36 | 57 | 36,0 | 1,3 | 28,4 | Argille - Argille Limose |
| | 10,4 | 33 | 52 | 33,0 | 1,7 | 19,0 | Argille |
| | 10,6 | 32 | 58 | 32,0 | 1,1 | 28,2 | Argille - Argille Limose |
| | 10,8 | 32 | 49 | 32,0 | 1,3 | 25,3 | Argille - Argille Limose |
| | 11,0 | 33 | 52 | 33,0 | 0,9 | 38,1 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 11,2 | 36 | 49 | 36,0 | 1,1 | 31,8 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 11,4 | 35 | 52 | 35,0 | 1,0 | 35,0 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 11,6 | 36 | 51 | 36,0 | 1,7 | 21,6 | Argille |
| | 11,8 | 38 | 63 | 38,0 | 2,5 | 15,0 | Argille |
| | 12,0 | 72 | 110 | 72,0 | 3,1 | 23,5 | Argille |
| | 12,2 | 52 | 98 | 52,0 | 2,2 | 23,6 | Argille |
| | 12,4 | 44 | 77 | 44,0 | 1,9 | 23,6 | Argille |
| | 12,6 | 56 | 84 | 56,0 | 1,9 | 29,0 | Argille - Argille Limose |
| | 12,8 | 61 | 90 | 61,0 | 3,8 | 16,1 | Argille |
| | 13,0 | 61 | 118 | 61,0 | 3,8 | 16,1 | Argille |
| | 13,2 | 45 | 102 | 45,0 | 1,7 | 26,0 | Argille - Argille Limose |
| | 13,4 | 55 | 81 | 55,0 | 1,3 | 41,3 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 13,6 | 40 | 60 | 40,0 | 1,5 | 26,1 | Argille - Argille Limose |
| | 13,8 | 31 | 54 | 31,0 | 0,3 | 93,1 | Sabbie fini - Sabbie con Ghiaia |
| | 14,0 | 36 | 41 | 36,0 | 1,1 | 33,7 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 14,2 | 41 | 57 | 41,0 | 0,9 | 43,9 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 14,4 | 44 | 58 | 44,0 | 0,8 | 55,0 | Limi Sabbiosi - Sabbie Limose |
| | 14,6 | 51 | 63 | 51,0 | 0,0 | | Stima non eseguibile |

| | |
|---|---|
| Caratteristiche piezometro installato Diametro tubo: _____ Riempimento: _____ | Tratto finestrato: _____ Cementazione: _____ |
|---|---|

Prova penetrometrica statica CPT

Geologo consulente:

Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti

Ubicazione indagine:

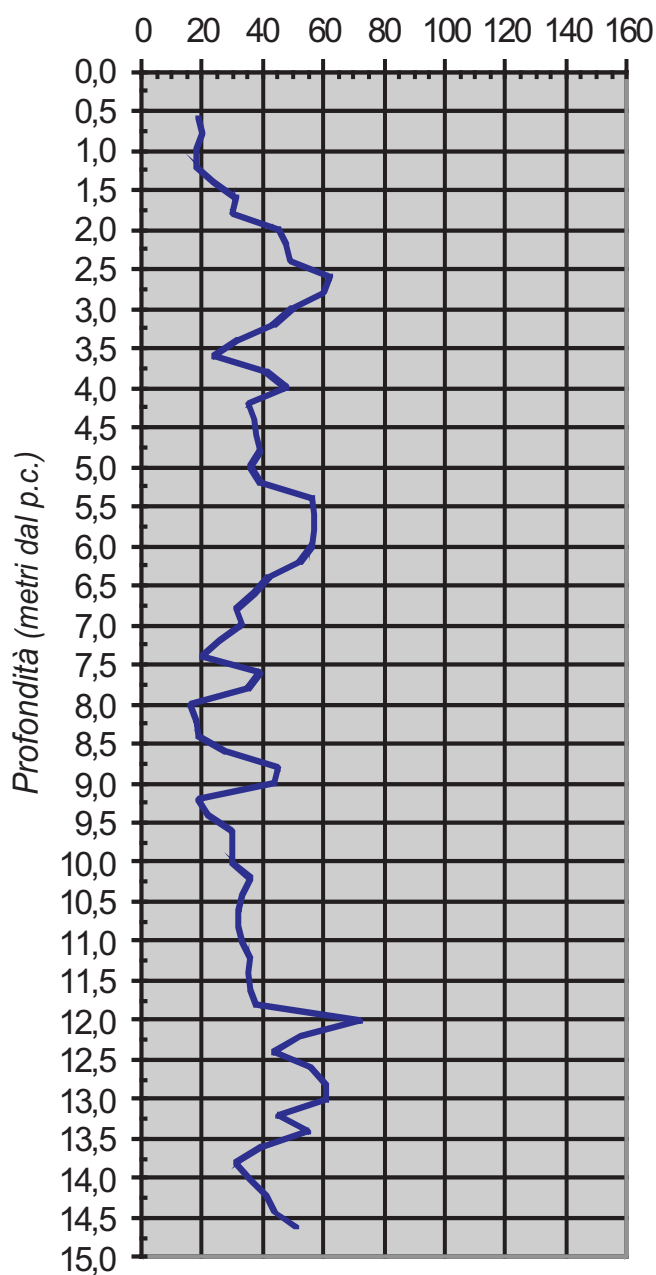
Via Goffredo Mameli n°15, in Grosseto (GR)

Data esecuzione:

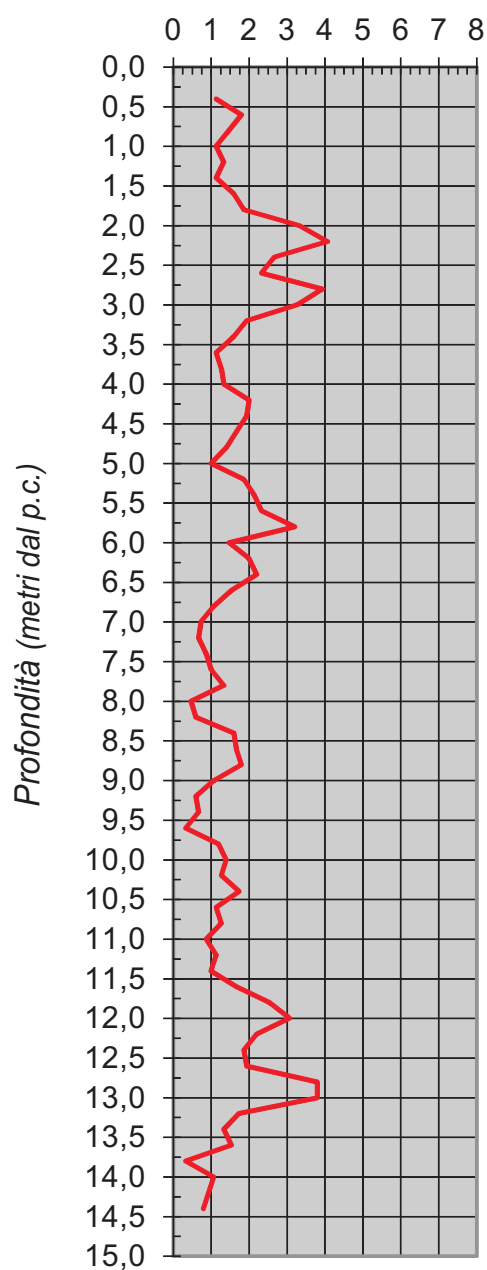
11.12.2018

PROVA CPT 1

*Resistenza alla punta
RP (Kg/cm²)*



*Resistenza laterale
RL (Kg/cm²)*



Prova penetrometrica statica CPT

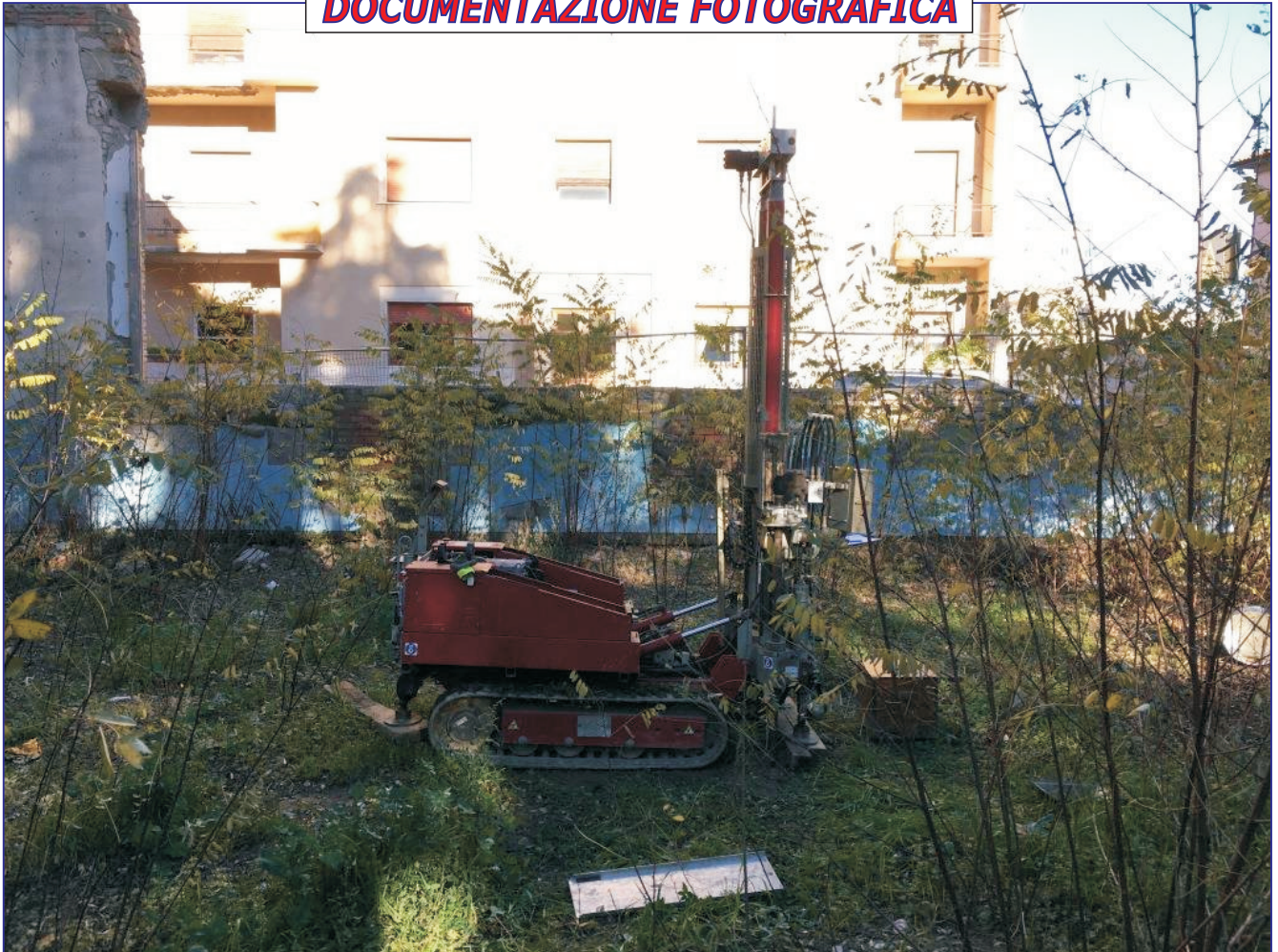
Geologo consulente:
Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti

Ubicazione indagine:
Via Goffredo Mameli n°15 in Grosseto (GR)

Data esecuzione:
11.12.2018

PROVA CPT 1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



UBICAZIONE INDAGINE



Coordinate WGS-84:
Lat: 42.766864
Long: 11.108728

Estratto da Google Earth (09/03/2017)

Prova penetrometrica statica CPT

| | | |
|--|--|---------------------------------------|
| Geologo consulente: Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti | Ubicazione indagine: Via Goffredo Mameli n°15, in Grosseto (GR) | Data esecuzione: 11.12.2018 |
| Penetrometro statico PAGANI TG63-200 con spinta di 200 KN e dispositivo di misura costituito da cella di carico elettrica con display digitale - Prova eseguita con punta Begemann ed anello allargatore ad 1 m dalla punta. | | PROVA CPT 2 |
| Quota (m) s.l.m.: _____ | Falda: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si Soggiacenza dal p.c.: <u>5.23 m</u> | Note sperimentatore: _____ |

| Schema costruttivo piezometro | Prof. (metri) | Lpunta | Lp+m | Rpunta | Rlater. | Rp/RI | Litologia Begemann (1965) |
|-------------------------------|---------------|--------|------|--------|---------|-------|-------------------------------|
| | | kg/cm² | | kg/cm² | | | |
| | 0,2 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | | Stima non eseguibile |
| | 0,4 | 0 | 0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | Stima non eseguibile |
| | 0,6 | 16 | 20 | 16,0 | 0,9 | 17,1 | Argille |
| | 0,8 | 18 | 32 | 18,0 | 1,0 | 18,0 | Argille |
| | 1,0 | 24 | 39 | 24,0 | 0,9 | 27,7 | Argille - Argille Limose |
| | 1,2 | 19 | 32 | 19,0 | 1,1 | 17,8 | Argille |
| | 1,4 | 23 | 39 | 23,0 | 4,0 | 5,8 | Torbe - Argille Torbose |
| | 1,6 | 60 | 120 | 60,0 | 4,2 | 14,3 | Torbe - Argille Torbose |
| | 1,8 | 88 | 151 | 88,0 | 4,2 | 21,0 | Argille |
| | 2,0 | 82 | 145 | 82,0 | 5,1 | 16,0 | Argille |
| | 2,2 | 78 | 155 | 78,0 | 4,1 | 18,9 | Argille |
| | 2,4 | 92 | 154 | 92,0 | 3,6 | 25,6 | Argille - Argille Limose |
| | 2,6 | 154 | 208 | 154,0 | 3,7 | 41,3 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 2,8 | 108 | 164 | 108,0 | 7,0 | 15,4 | Argille |
| | 3,0 | 103 | 208 | 103,0 | 6,4 | 16,1 | Argille |
| | 3,2 | 121 | 217 | 121,0 | 3,6 | 33,6 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 3,4 | 96 | 150 | 96,0 | 6,0 | 16,0 | Argille |
| | 3,6 | 118 | 208 | 118,0 | 4,7 | 25,3 | Argille - Argille Limose |
| | 3,8 | 117 | 187 | 117,0 | 4,4 | 26,6 | Argille - Argille Limose |
| | 4,0 | 75 | 141 | 75,0 | 4,0 | 18,8 | Argille |
| | 4,2 | 72 | 132 | 72,0 | 2,9 | 24,5 | Argille - Argille Limose |
| | 4,4 | 96 | 140 | 96,0 | 1,3 | 72,0 | Sabbie limose |
| | 4,6 | 43 | 63 | 43,0 | 2,4 | 17,9 | Argille |
| | 4,8 | 42 | 78 | 42,0 | 2,4 | 17,5 | Argille |
| | 5,0 | 43 | 79 | 43,0 | 2,9 | 15,0 | Argille |
| | 5,2 | 39 | 82 | 39,0 | 2,7 | 14,6 | Argille |
| | 5,4 | 47 | 87 | 47,0 | 2,8 | 16,8 | Argille |
| | 5,6 | 40 | 82 | 40,0 | 1,3 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 5,8 | 30 | 50 | 30,0 | 1,1 | 28,1 | Argille - Argille Limose |
| | 6,0 | 28 | 44 | 28,0 | 0,8 | 35,0 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 6,2 | 28 | 40 | 28,0 | 1,1 | 24,7 | Argille - Argille Limose |
| | 6,4 | 24 | 41 | 24,0 | 0,8 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 6,6 | 23 | 35 | 23,0 | 0,8 | 28,8 | Argille - Argille Limose |
| | 6,8 | 29 | 41 | 29,0 | 0,9 | 33,4 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 7,0 | 28 | 41 | 28,0 | 0,8 | 35,0 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 7,2 | 29 | 41 | 29,0 | 0,8 | 36,3 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 7,4 | 20 | 32 | 20,0 | 0,7 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 7,6 | 18 | 28 | 18,0 | 0,7 | 27,0 | Argille - Argille Limose |
| | 7,8 | 22 | 32 | 22,0 | 0,5 | 41,3 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 8,0 | 24 | 32 | 24,0 | 0,5 | 45,0 | Limi Sabbiosi - Sabbie Limose |

Caratteristiche piezometro installato

Diametro tubo: _____
 Riempimento: _____

Tratto finestrato: _____
 Cementazione: _____

Prova penetrometrica statica CPT

| | | |
|--|--|---------------------------------------|
| Geologo consulente: Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti | Ubicazione indagine: Via Goffredo Mameli n°15, in Grosseto (GR) | Data esecuzione: 11.12.2018 |
| Penetrometro statico PAGANI TG63-200 con spinta di 200 KN e dispositivo di misura costituito da cella di carico elettrica con display digitale - Prova eseguita con punta Begemann ed anello allargatore ad 1 m dalla punta. | | PROVA CPT 2 |
| Quota (m) s.l.m.: _____ | Falda: <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si Soggiacenza dal p.c.: <u>5.23 m</u> | Note sperimentatore: _____ |

| Schema costruttivo piezometro | Prof. (metri) | Lpunta | Lp+m | Rpunta | Rlater. | Rp/RI | Litologia Begemann (1965) |
|-------------------------------------|------------------|--------------------|------|--------------------|---------|-------|----------------------------------|
| | | kg/cm ² | | kg/cm ² | | | |
| | 8,2 | 16 | 24 | 16,0 | 0,5 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 8,4 | 16 | 24 | 16,0 | 0,5 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 8,6 | 19 | 27 | 19,0 | 0,4 | 47,5 | Limi Sabbiosi - Sabbie Limose |
| | 8,8 | 16 | 22 | 16,0 | 0,5 | 30,0 | Argille - Argille Limose |
| | 9,0 | 16 | 24 | 16,0 | 0,5 | 34,3 | Limi - Argille Sabbiose |
| | 9,2 | 21 | 28 | 21,0 | 1,7 | 12,1 | Torbe - Argille Torbose |
| | 9,4 | 26 | 52 | 26,0 | 1,2 | 21,7 | Argille |
| | 9,6 | 64 | 82 | 64,0 | 0,4 | 160,0 | Sabbie dense - Sabbie con Ghiaia |
| | 9,8 | 68 | 74 | 68,0 | 0,9 | 78,4 | Sabbie fini - Sabbie con Ghiaia |
| | 10,0 | 66 | 79 | 66,0 | 0,0 | | Stima non eseguibile |

| | |
|---|---|
| Caratteristiche piezometro installato Diametro tubo: _____ Riempimento: _____ | Tratto finestrato: _____ Cementazione: _____ |
|---|---|

Prova penetrometrica statica CPT

Geologo consulente:

Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti

Ubicazione indagine:

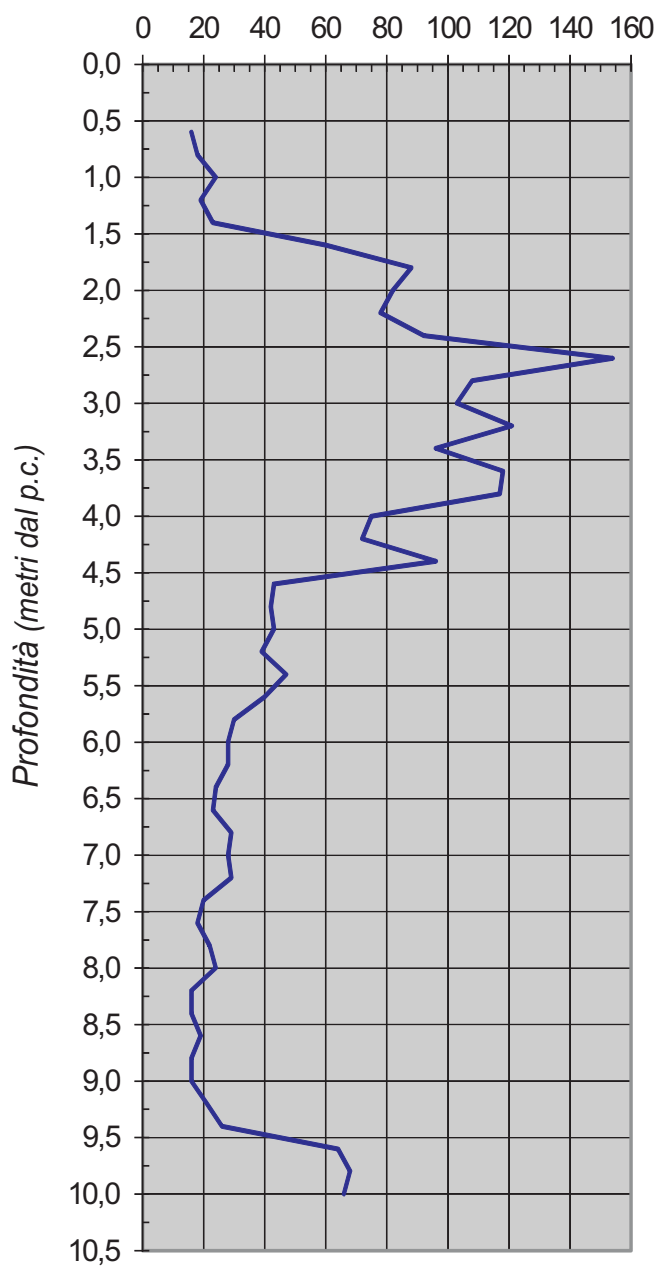
Via Goffredo Mameli n°15, in Grosseto (GR)

Data esecuzione:

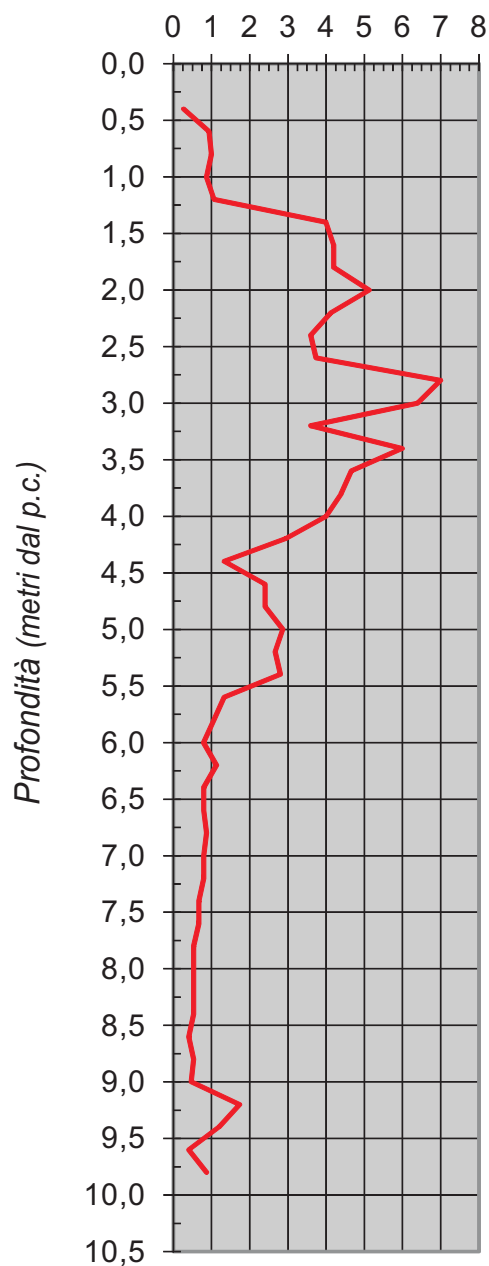
11.12.2018

PROVA CPT 2

*Resistenza alla punta
RP (Kg/cm²)*



*Resistenza laterale
RL (Kg/cm²)*



Prova penetrometrica statica CPT

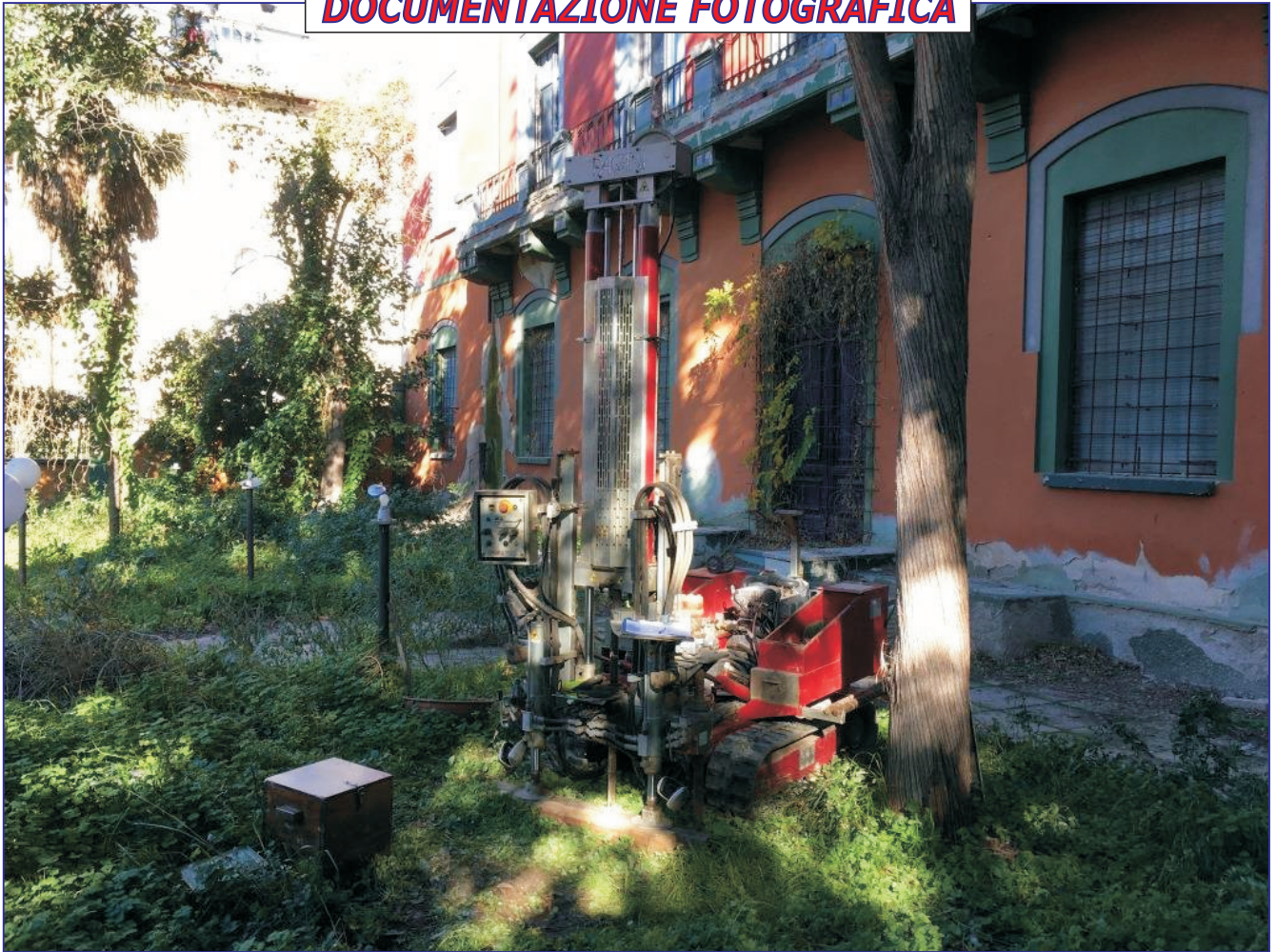
Geologo consulente:
Dott. Geol. Fabrizio Uccelletti

Ubicazione indagine:
Via Goffredo Mameli n°15 in Grosseto (GR)

Data esecuzione:
11.12.2018

PROVA CPT 2

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



UBICAZIONE INDAGINE



Coordinate WGS-84:
Lat: 42.766746
Long: 11.108211

Estratto da Google Earth (09/03/2017)

Indagine Sismica MASW

Comune di Grosseto – Via Goffredo Mameli – Ex Garibaldi MASW PIAZZALE

Stendimento e campionamento

Data acquisizione: **11 Dicembre 2018**

Offset minimo: 2 mt.

Distanza intergeofonica: 1 mt.

Lunghezza stendimento: 23 mt.

Configurazione: 24 canali

Energizzazione con massa da 20 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

Vs30 = 392.65 [m/s]

CATEGORIA SOTTOSUOLO B



Metodologia MASW

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

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

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

...Approfondimenti a pagina 6

Uccelletti Fabrizio Geologo

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

C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539

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

UBICAZIONE

Coordinate medie dello
EPSG:3003
Gauss Boaga [3003] [m]
1672547.35
4737087.1

ORIENTAZIONE STENDIMENTO

EST – OVEST



Foto locali dello stendimento



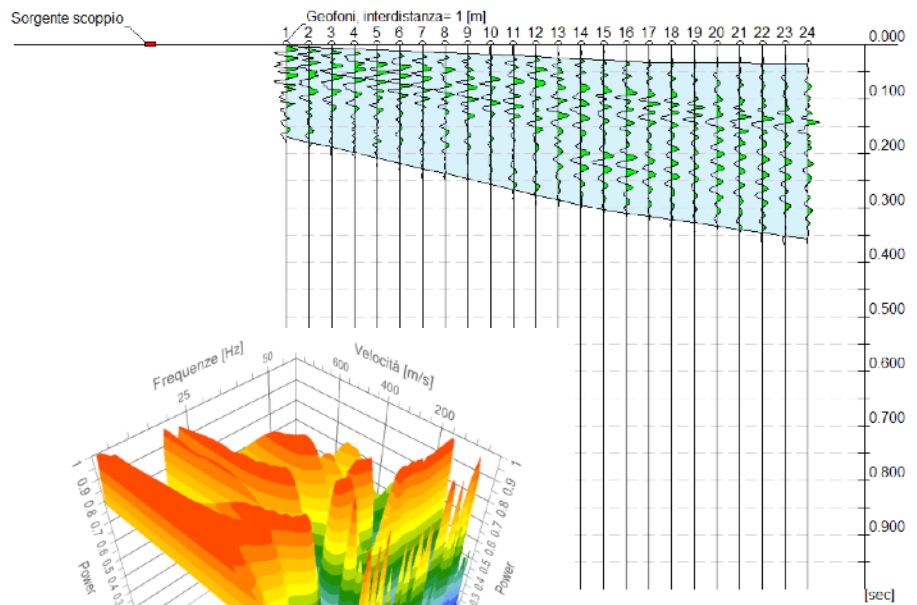
Software di elaborazione del segnale acquisito:

EasyMASW Geostru
Software

FASI DI ELABORAZIONE

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

Tracce Acquisite



Software di acquisizione:

DoReMi Software v. 1.1.36

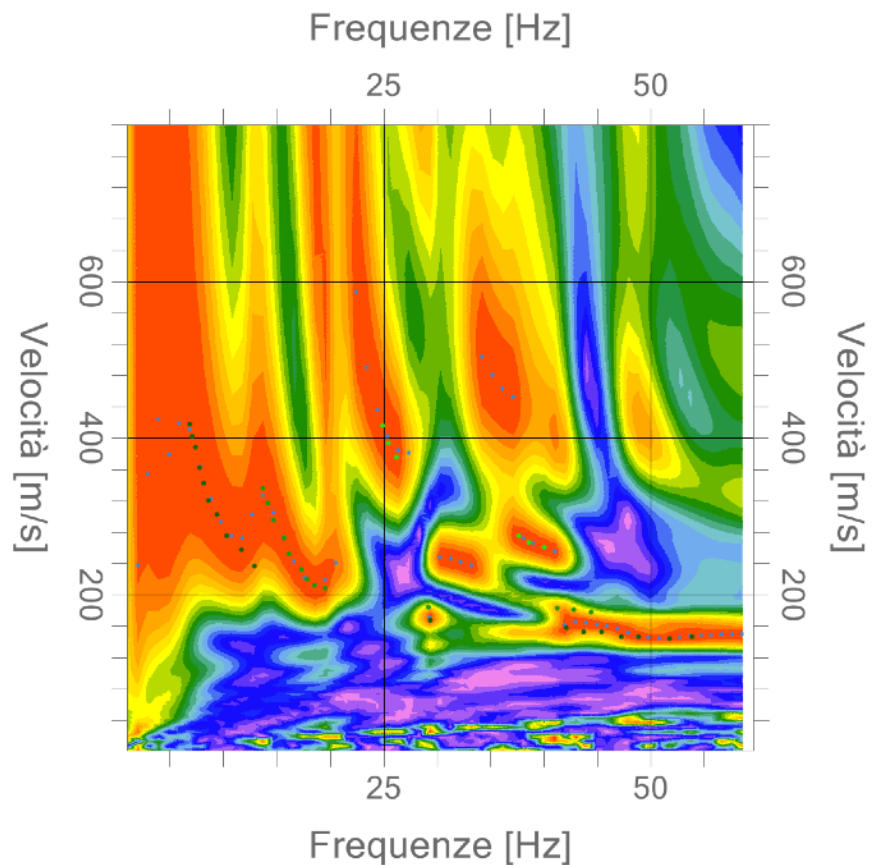
Caratteristiche tecniche del sismografo

Caratteristiche tecniche

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



Spettro velocità di fase



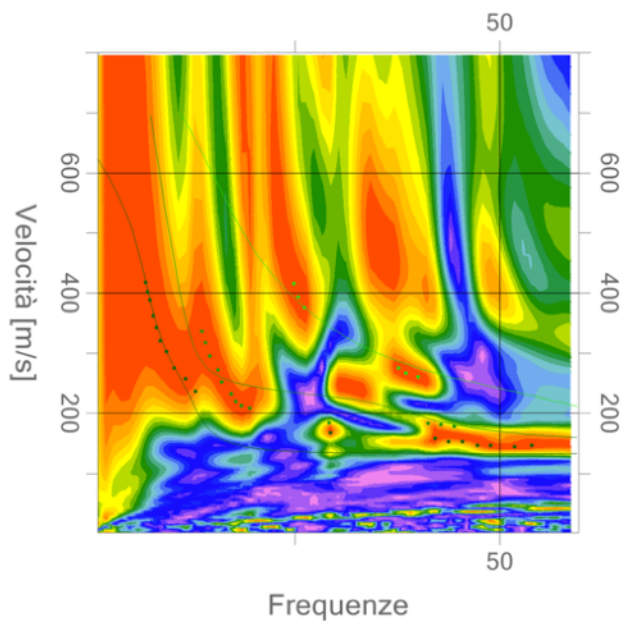
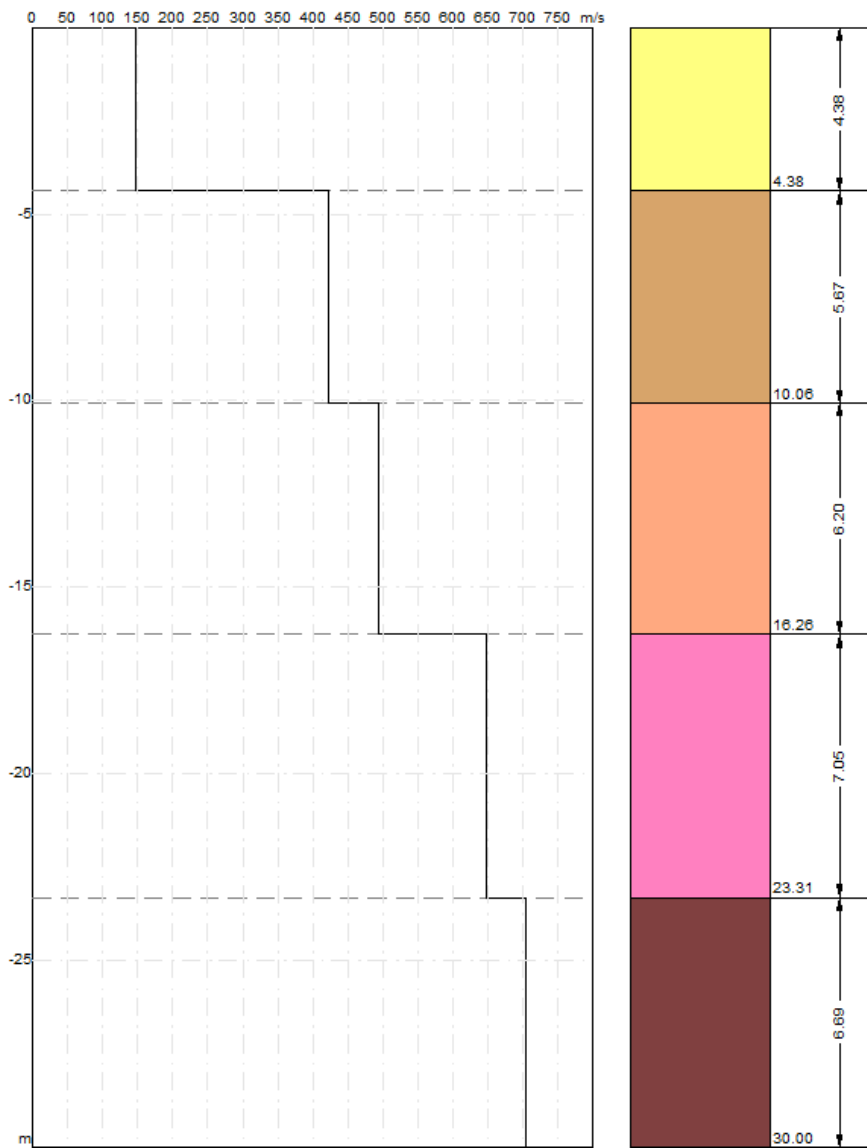
Software di elaborazione del segnale acquisito:

EasyMASW Geostru
Software

FASI DI ELABORAZIONE

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

Inversione e modello sismodinamico



Tavella dei valori di inversione

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Densità [kg/mc] | Coeff. Poisson | G0 [MPa] | Ed [MPa] | M0 [MPa] | Ey [MPa] |
|----|-------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 4.38 | 4.38 | 145.88 | 238.23 | 1800.00 | 0.20 | 38.31 | 102.16 | 51.08 | 91.94 |
| 2 | 10.06 | 5.67 | 422.74 | 690.33 | 1800.00 | 0.20 | 321.67 | 857.79 | 428.90 | 772.01 |
| 3 | 16.26 | 6.20 | 493.62 | 806.08 | 1800.00 | 0.20 | 438.59 | 1169.57 | 584.79 | 1052.62 |
| 4 | 23.31 | 7.05 | 647.93 | 1058.07 | 1800.00 | 0.20 | 755.67 | 2015.12 | 1007.56 | 1813.61 |
| 5 | oo | oo | 705.16 | 1151.52 | 1800.00 | 0.20 | 895.05 | 2386.81 | 1193.40 | 2148.13 |

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;

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

Calcolo del parametro Vs30

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

Vs30 = 392.65 [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. Depositì di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Cat. SOTTOSUOLO D. Depositì di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

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.

Indagine Sismica MASW

Comune di Grosseto – Via Goffredo Mameli – Ex Garibaldi MASW INGRESSO

Stendimento e campionamento

Data acquisizione: **11 Dicembre 2018**

Offset minimo: 2 mt.

Distanza intergeofonica: 1 mt.

Lunghezza stendimento: 23 mt.

Configurazione: 24 canali

Energizzazione con massa da 20 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

Vs30 = 355,66 [m/s]

CATEGORIA SOTTOSUOLO C



Metodologia MASW

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

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

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

...Approfondimenti a pagina 6

Uccelletti Fabrizio Geologo

V. 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

UBICAZIONE

Coordinate medie dello
EPSG:3003
Gauss Boaga [3003] [m]
1672520.22
4737081.96

ORIENTAZIONE STENDIMENTO

NORD – SUD

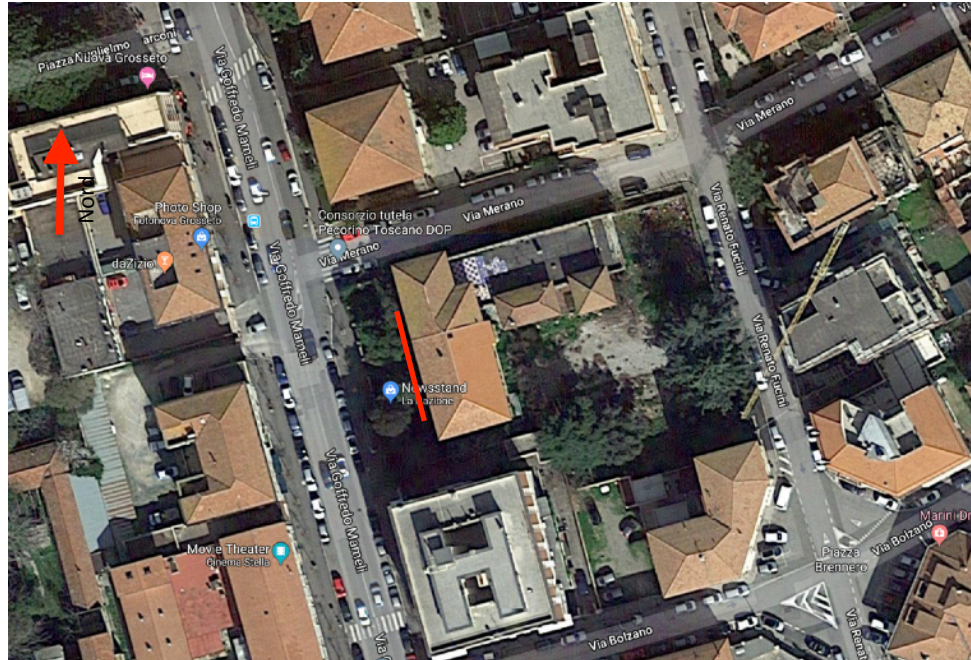


Foto locali dello stendimento



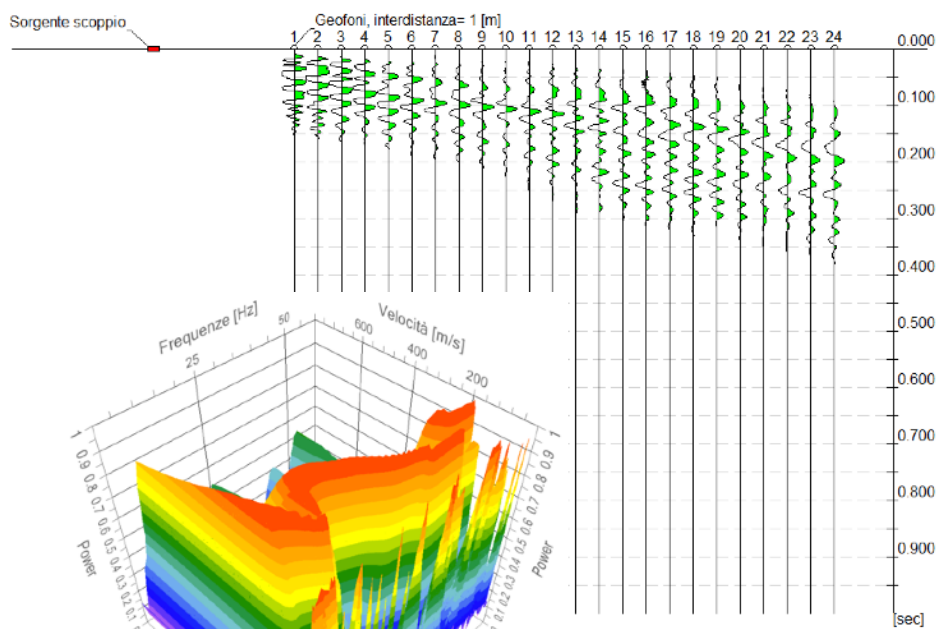
Software di elaborazione del segnale acquisito:

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

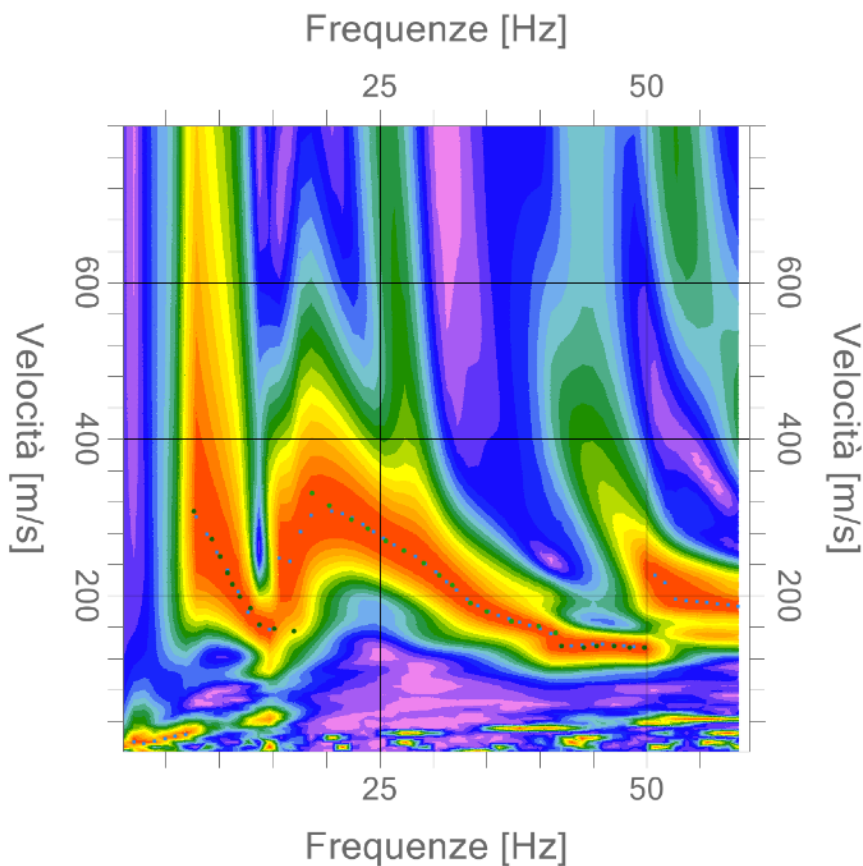
Caratteristiche tecniche del sismografo

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-torsioni, abrasioni ed agenti chimici |
| Campionamento | |
| Memoria: | 64 kBytes (>30000 campioni) |
| Frequenze selezionabili: | da 200 a 20000 Hz (da 5 a 0.05 ms) |
| Convertitore: | tipo SAR a 16 bit (96 dB) |
| Amplificatore: | ultra-low noise con ingresso differenziale |
| Filtri: | 3Hz passa alto, 200Hz passa basso |
| Reiezione modo comune: | >80dB |
| Diagnostica (crosstalk): | non valutabile per architettura ad elementi singoli a trasmissione digitale, virtualmente nulla. |
| Dinamica del sistema | |
| Risoluzione: | 7.600 μV @ 10x; 0.076 μV @ 1000x |
| Dinamica di base: | 96dB (16 bit) |
| S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: | >90dB (RMS) |
| Full range a 10x: | 0.5V p-p |
| Risoluzione: | 0.0000002V p-p @ 1000x 4000Hz (RMS) |
| Dinamica totale teorica: | 155dB (A/D + PGA) |
| Alimentazione | |
| Tensione di alimentazione: | 10-15VDC |
| Consumo: | Unità di testa: 20mA Per Canale: 40mA Consumo totale 12 canali: 510mA |



Spettro velocità di fase



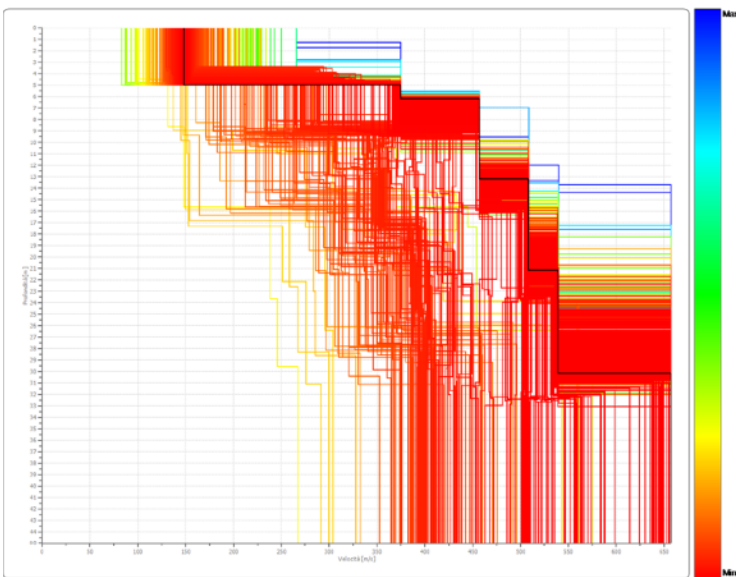
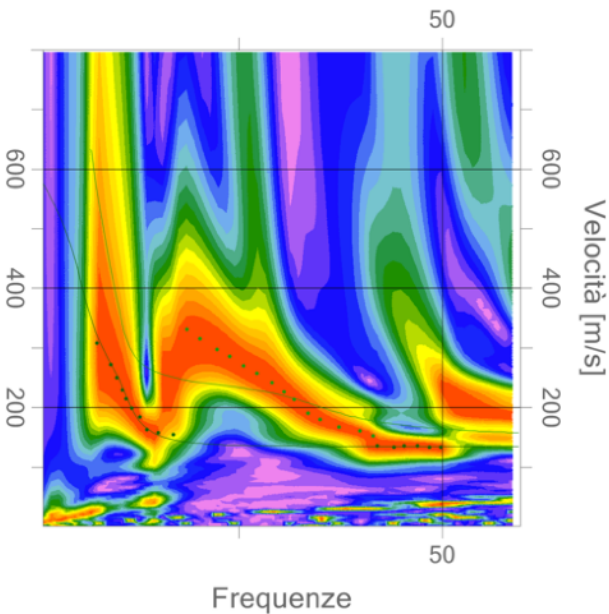
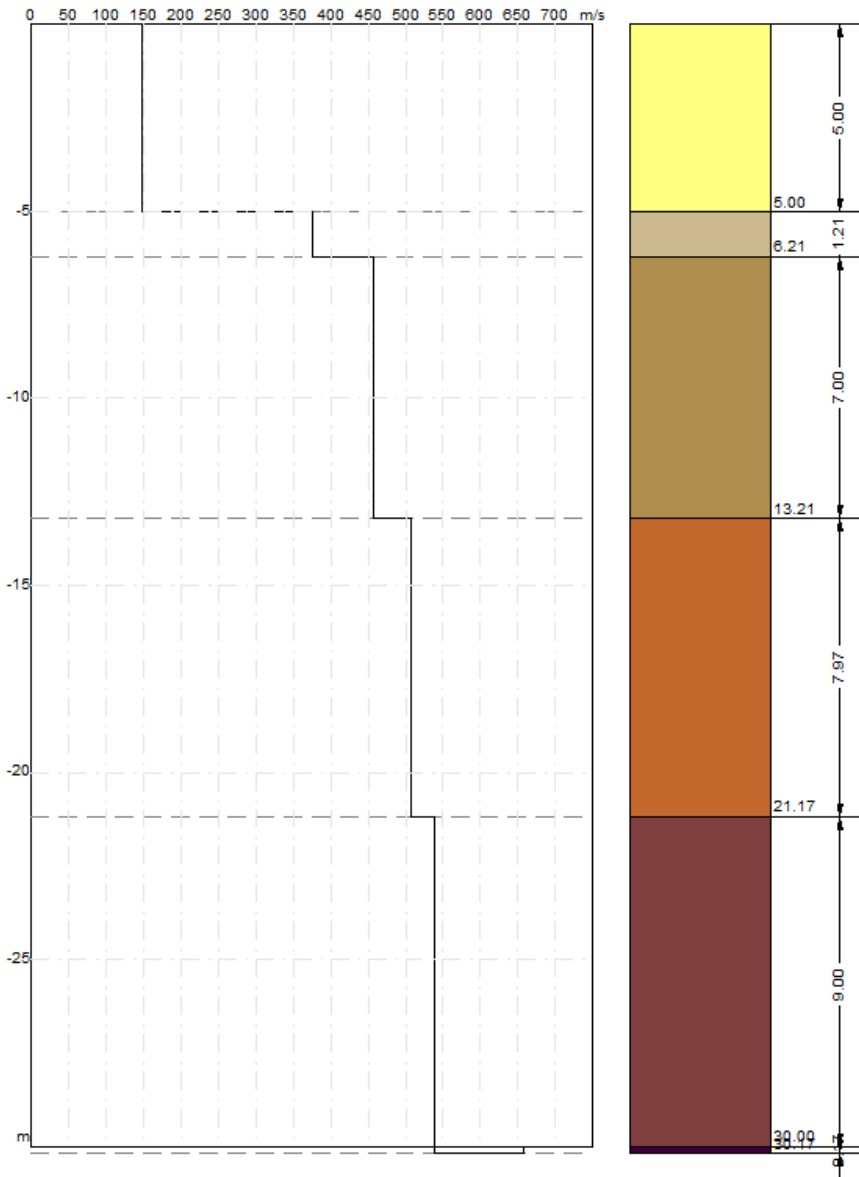
Software di elaborazione del segnale acquisito:

EasyMASW Geostru Software

FASI DI ELABORAZIONE

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

Inversione e modello sismodinamico



Tavella dei valori di inversione

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Vp [m/s] | Densità [kg/mc] | Coeff. Poisson | G0 [MPa] | Ed [MPa] | M0 [MPa] | Ey [MPa] |
|----|-------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 5.00 | 5.00 | 148.10 | 241.85 | 1800.00 | 0.20 | 39.48 | 105.28 | 52.64 | 94.75 |
| 2 | 6.21 | 1.21 | 374.92 | 612.24 | 1800.00 | 0.20 | 253.01 | 674.71 | 337.35 | 607.23 |
| 3 | 13.21 | 7.00 | 457.35 | 746.85 | 1800.00 | 0.20 | 376.51 | 1004.01 | 502.01 | 903.61 |
| 4 | 21.17 | 7.97 | 508.02 | 829.59 | 1800.00 | 0.20 | 464.55 | 1238.80 | 619.40 | 1114.92 |
| 5 | 30.17 | 9.00 | 538.73 | 879.74 | 1800.00 | 0.20 | 522.42 | 1393.11 | 696.55 | 1253.80 |

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;

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

Calcolo del parametro Vs30

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

Vs30 = 355,66 [m/s]
CATEGORIA SOTTOSUOLO C

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. Depositì di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Cat. SOTTOSUOLO D. Depositì di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

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.

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"

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 la stendimento geofonico G1-G24.

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

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

Le onde del sottosuolo

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

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

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

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

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

Rifrazione Sismica GRM

Comune di Grosseto – Via Goffredo Mameli – Ex Garibaldi MASW PIAZZALE

Campionamento e configurazione:

Shot interni allo stendimento n. 5

Shot esterni allo stendimento n. 2

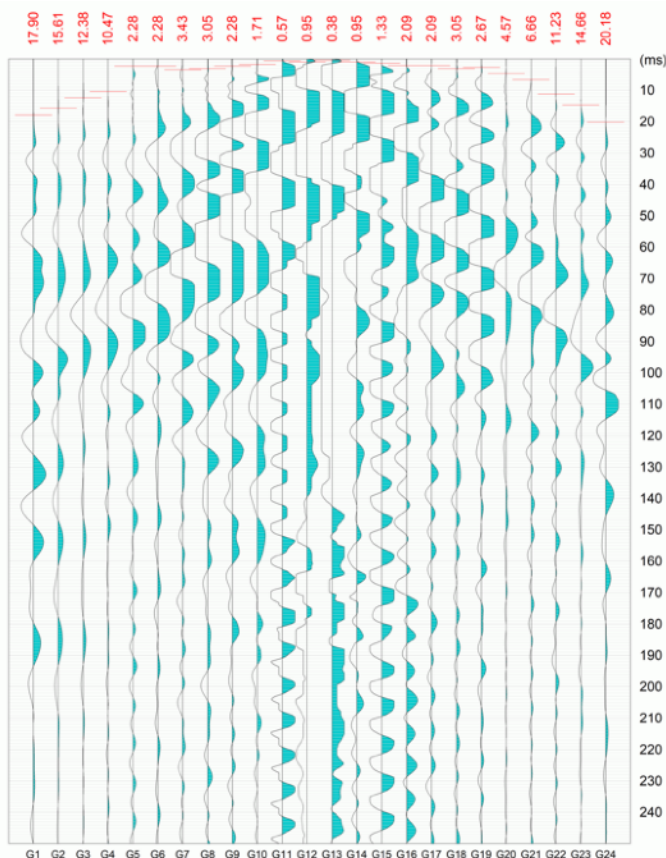
Configurazione: 24 canali

Durata del campionamento 0,25 sec.

Frequenza di campionamento 5000 Hz.

Periodo di campionamento di 200 μ sec.

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



Elaborazione

Elaborazione Software

InterSism 2.1 Geo&Soft International
Fasi di elaborazione

Pag.
3

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

Sintesi del metodo della rifrazione sismica

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

Pag.
5

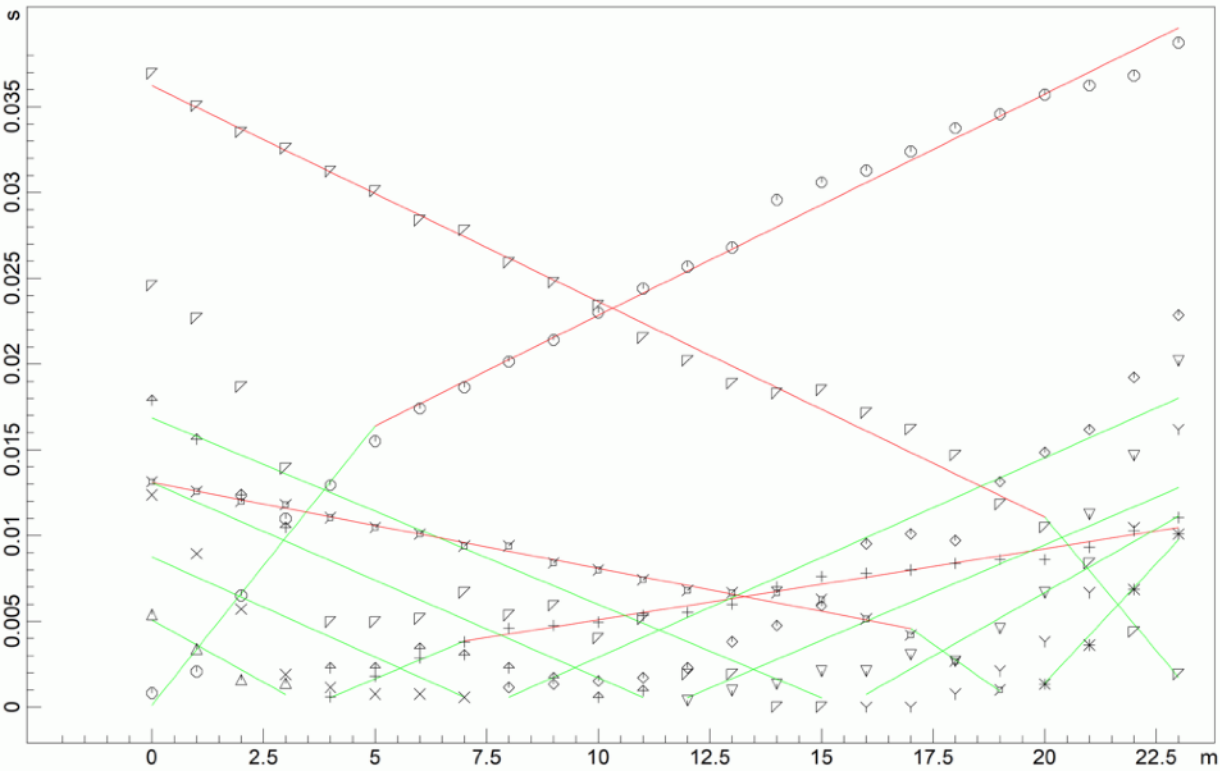
Uccelletti Fabrizio Geologo

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

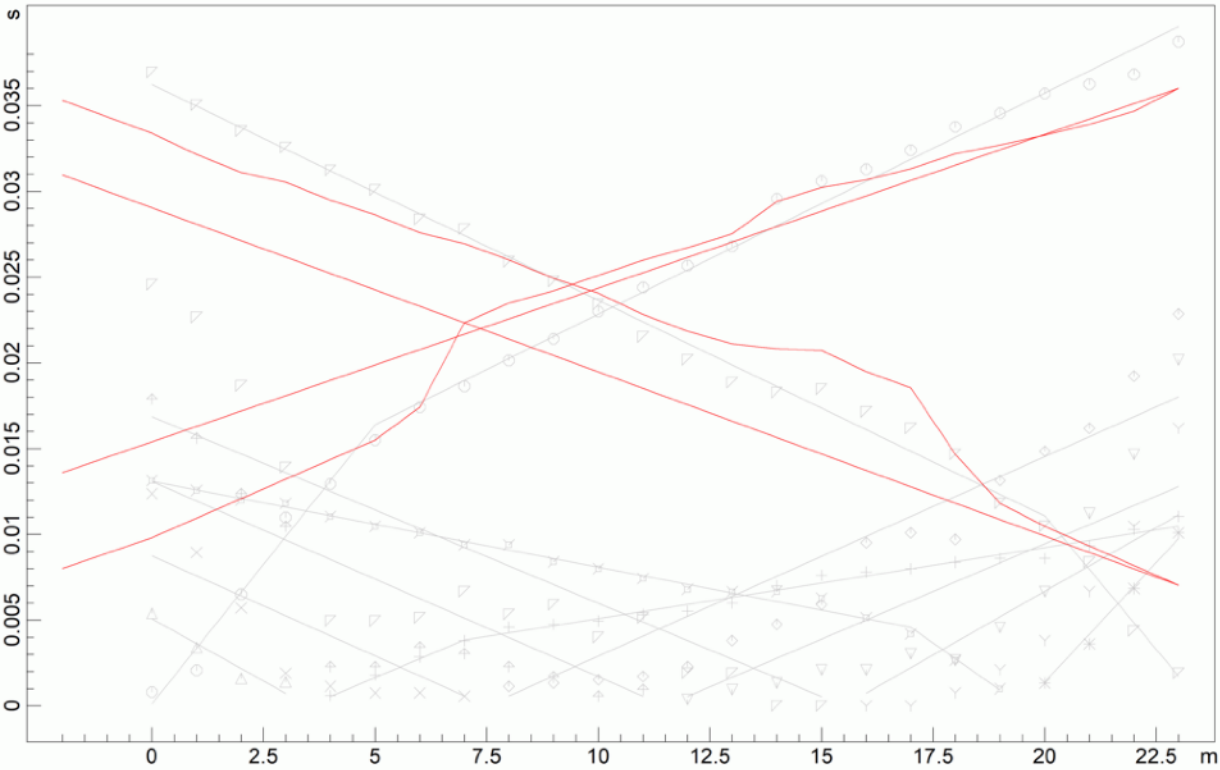
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539

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

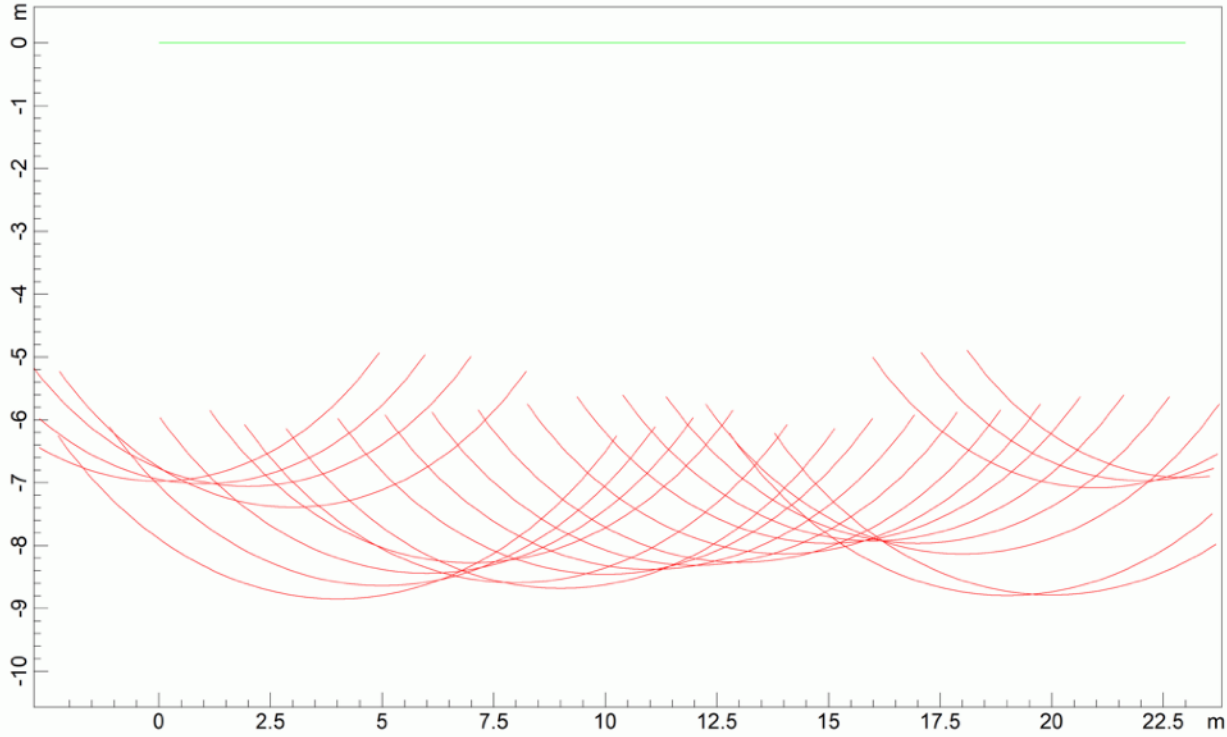
DROMOCRONE ORIGINALI



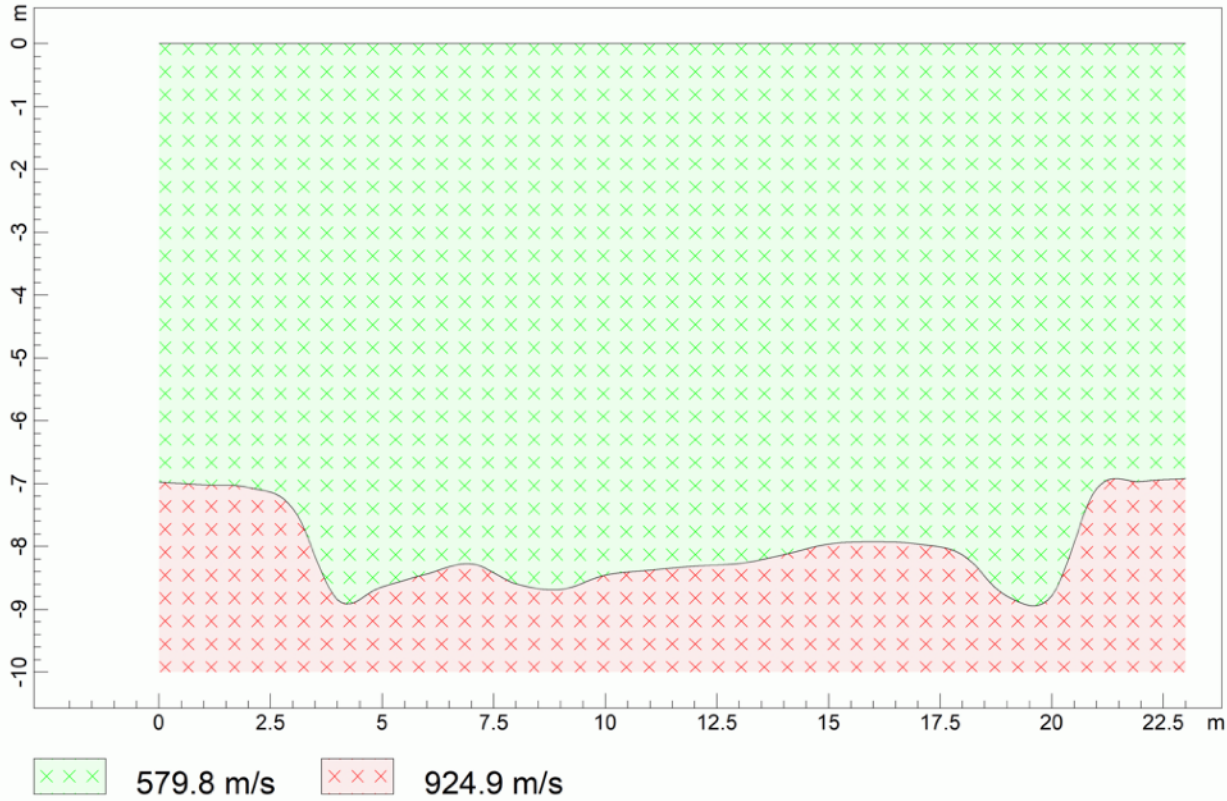
DROMOCRONE TRASLATE



PROFONDITA' RIFRATTORI



SEZIONE VERTICALE



Rifrazione Sismica GRM

Comune di Grosseto – Via Goffredo Mameli – Ex Garibaldi MASW INGRESSO

Campionamento e configurazione:

Shot interni allo stendimento n. 5

Shot esterni allo stendimento n. 2

Configurazione: 24 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).

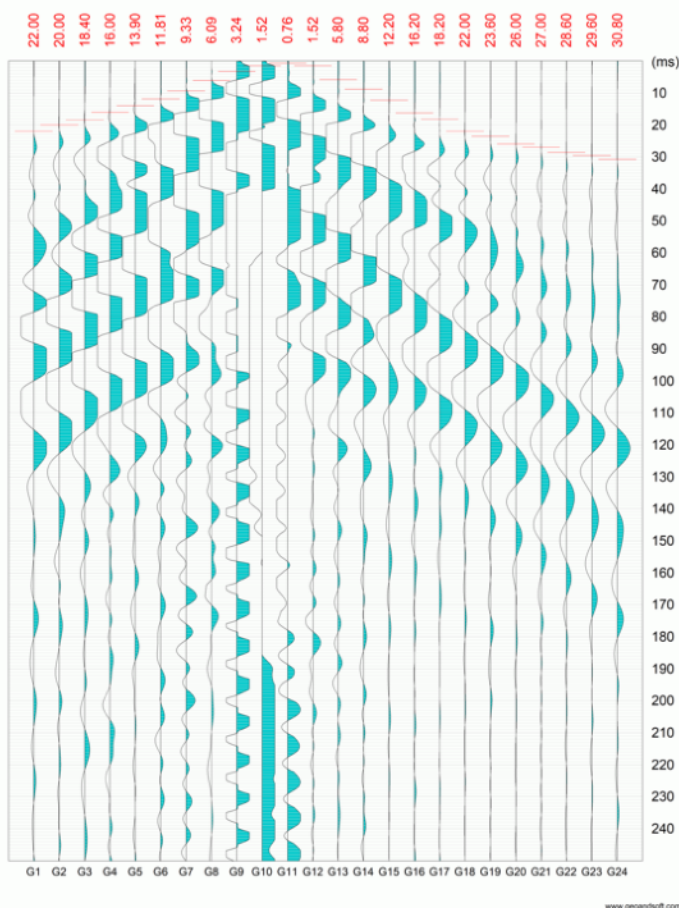
Elaborazione

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

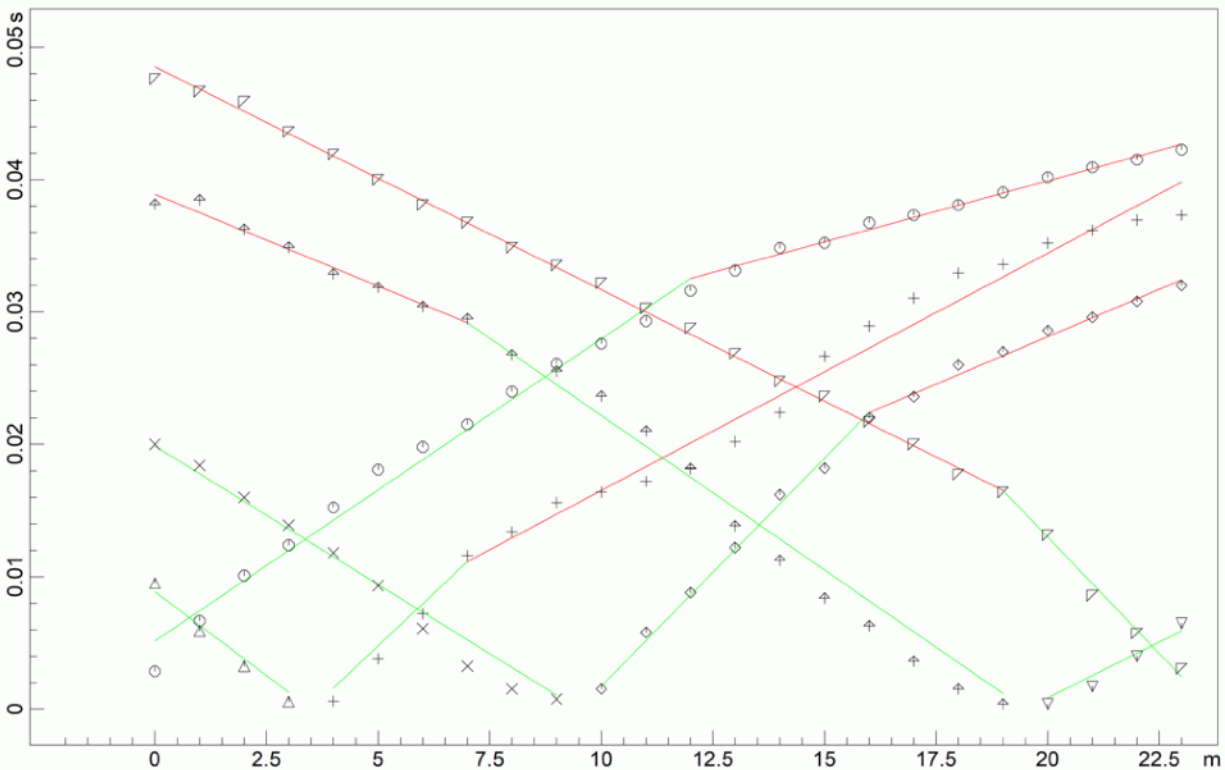
Uccelletti Fabrizio Geologo

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

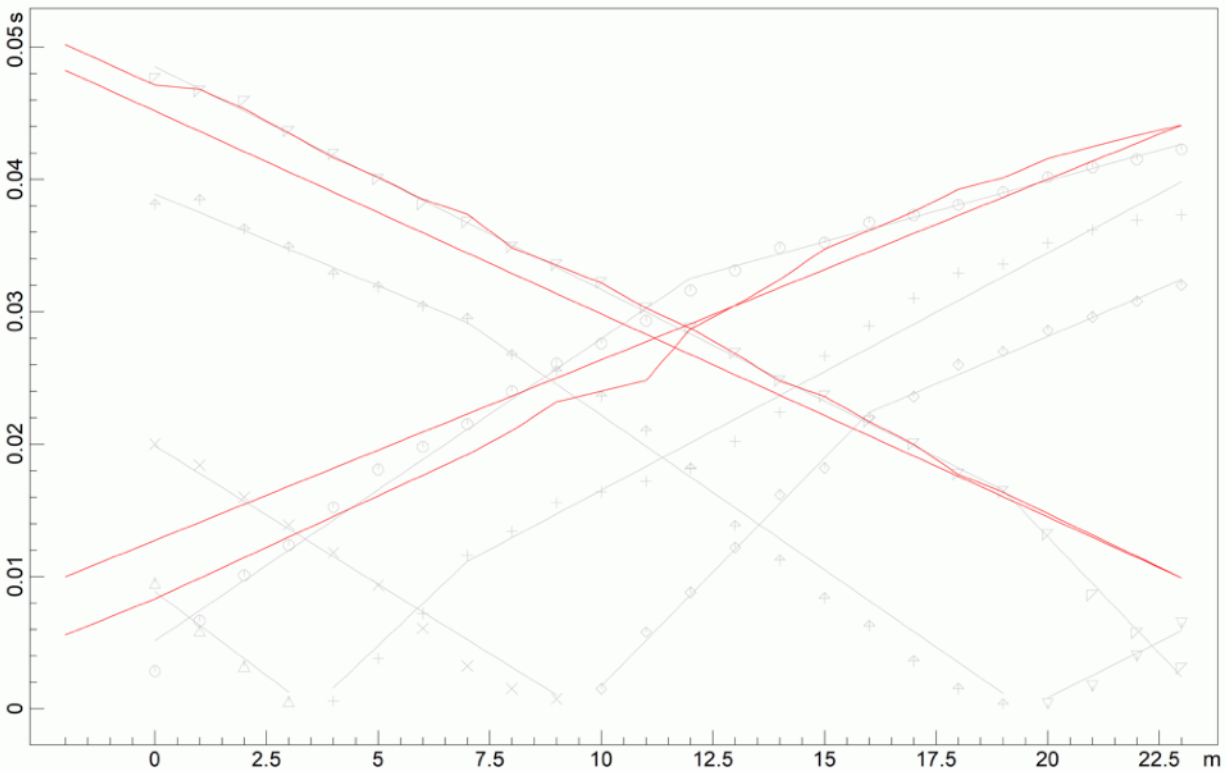
C.F. CCLFRZ80S28E202L - P.IVA 01490130539

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

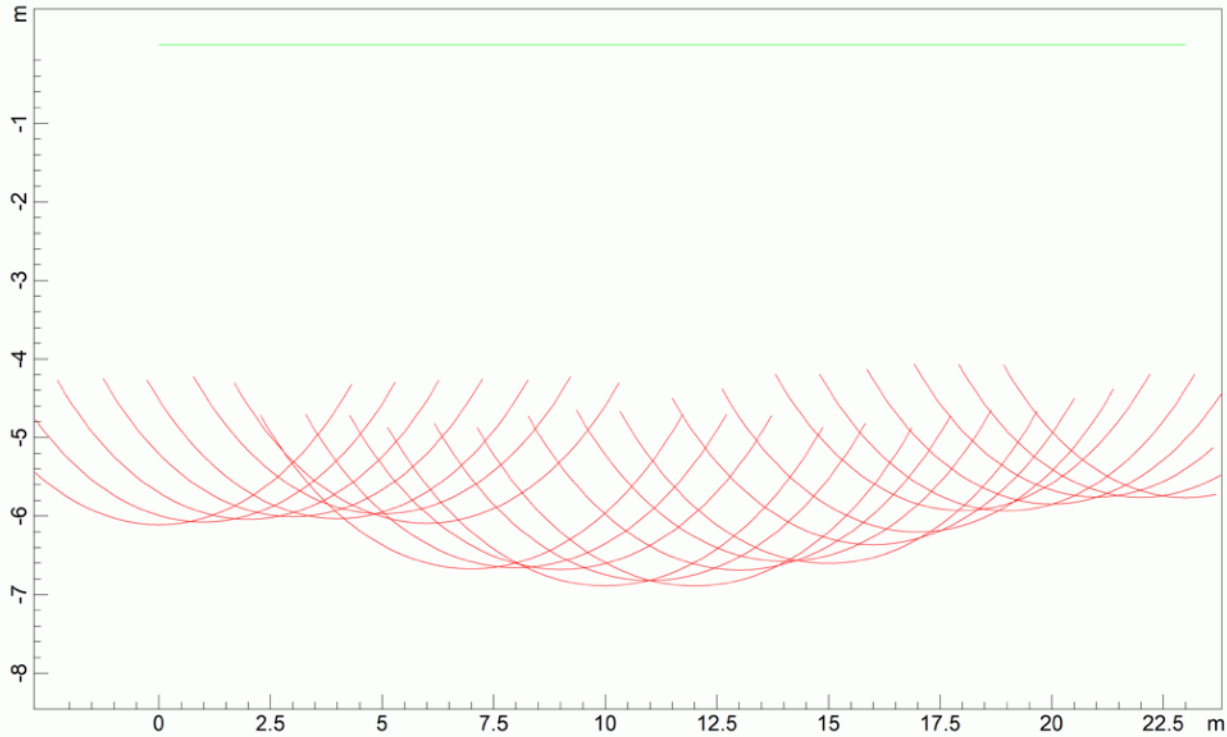
DROMOCRONE ORIGINALI



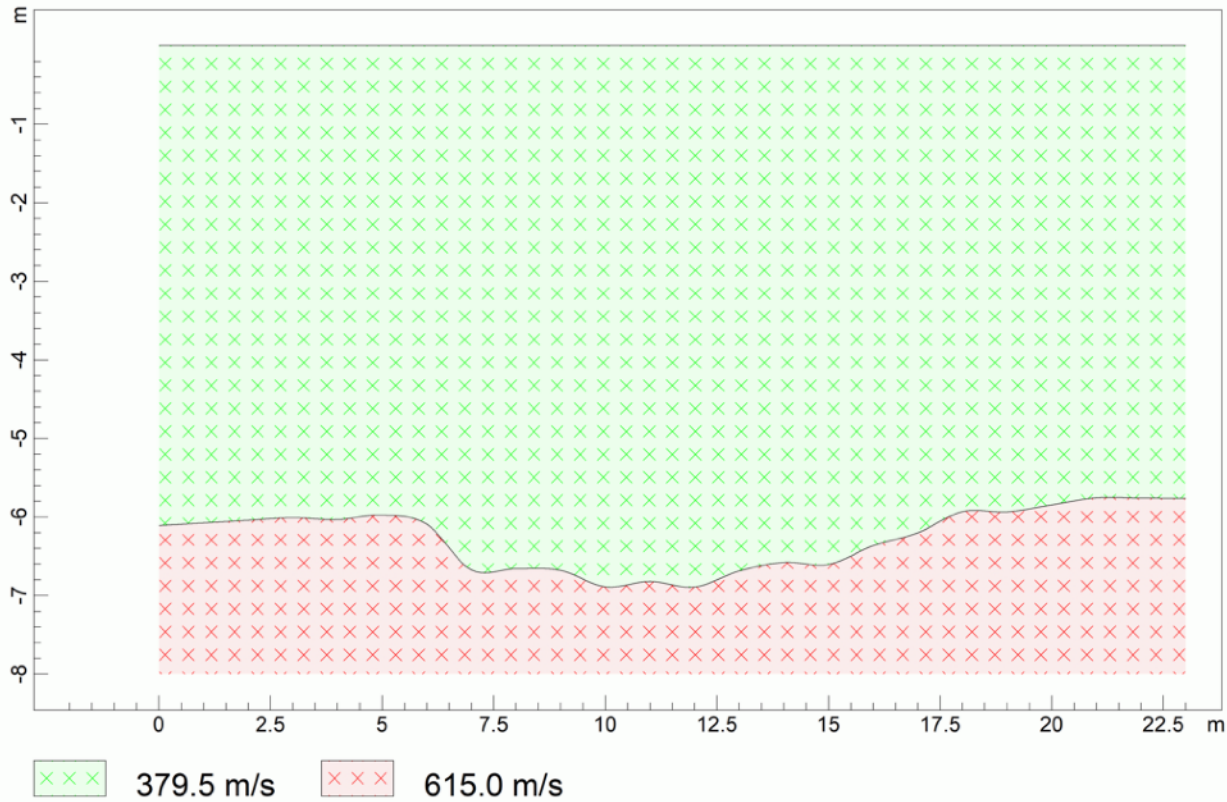
DROMOCRONE TRASLATE



PROFONDITA' RIFRATTORI



SEZIONE VERTICALE



SISMICA A RIFRAZIONE

Cenni teorici

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

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

Il comportamento sismico delle onde P

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

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**



Regione Toscana - DB Geologico

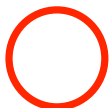
Scala 1 : 5.000

1.672.974

4.737.495



EPSG:3003



Ubicazione intervento

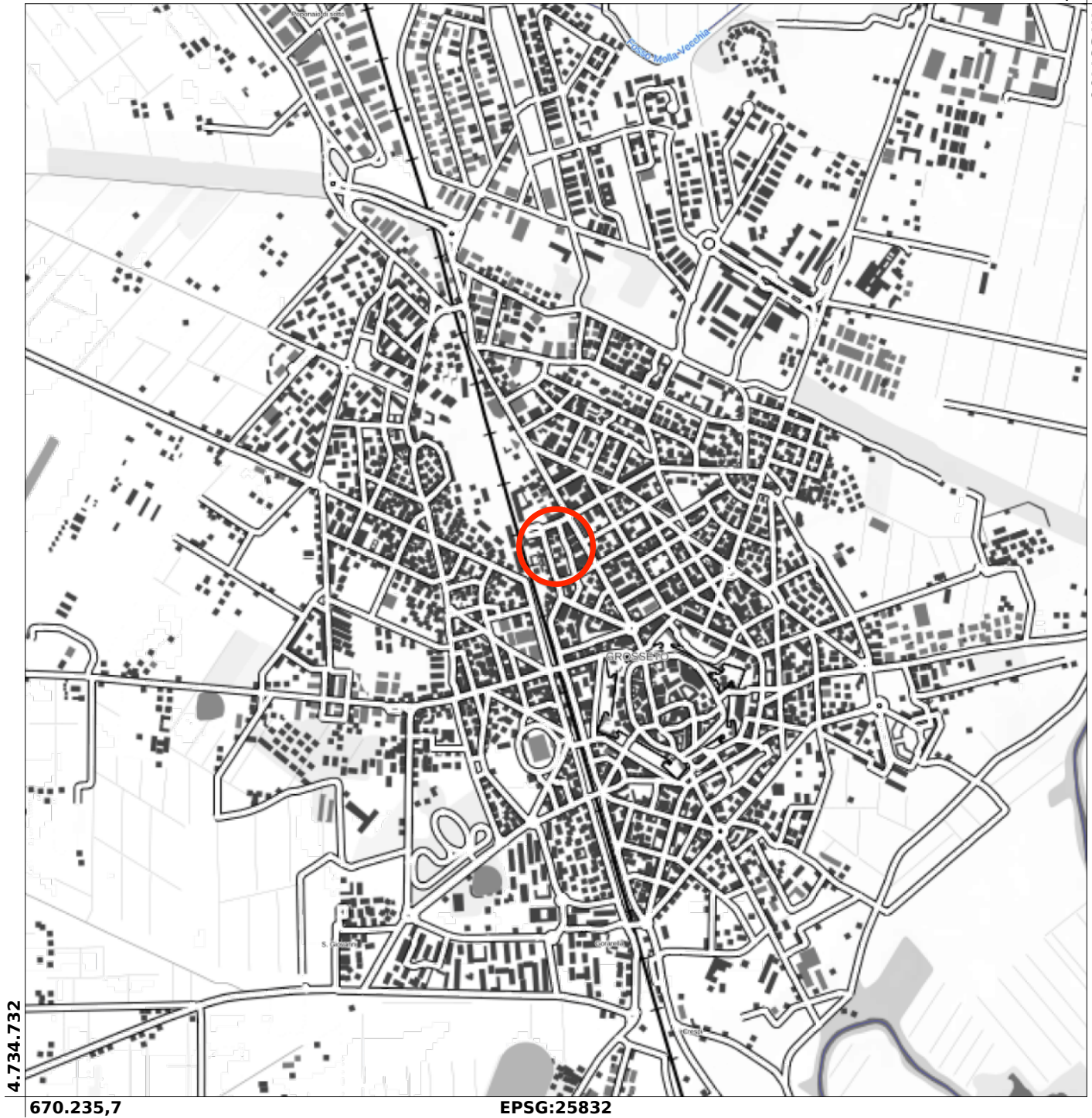


Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 25.000

674.778,1

4.739.406



670.235,7

EPSG:25832





Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 10.000

673.415,4

4.738.003



671.598,4

EPSG:25832



Ubicazione intervento

Corografia e Inquadramento

GROSSETO - Via G. MAMELI



Regione Toscana

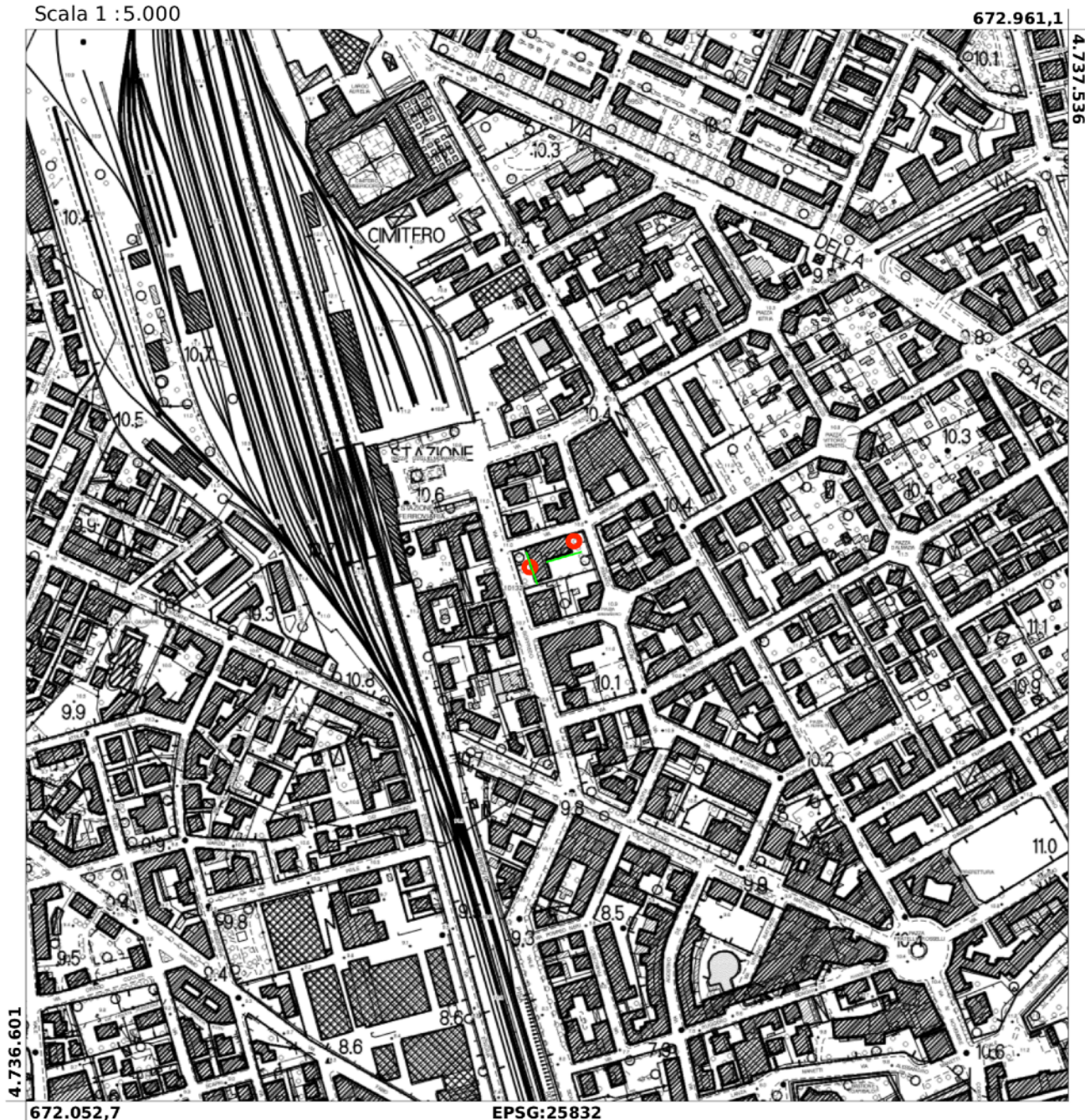
Carta Topografica

Scala 1:5000



Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 5.000



EPSG:25832

● Prove Geotecniche

— Prove Geofisiche

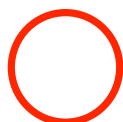
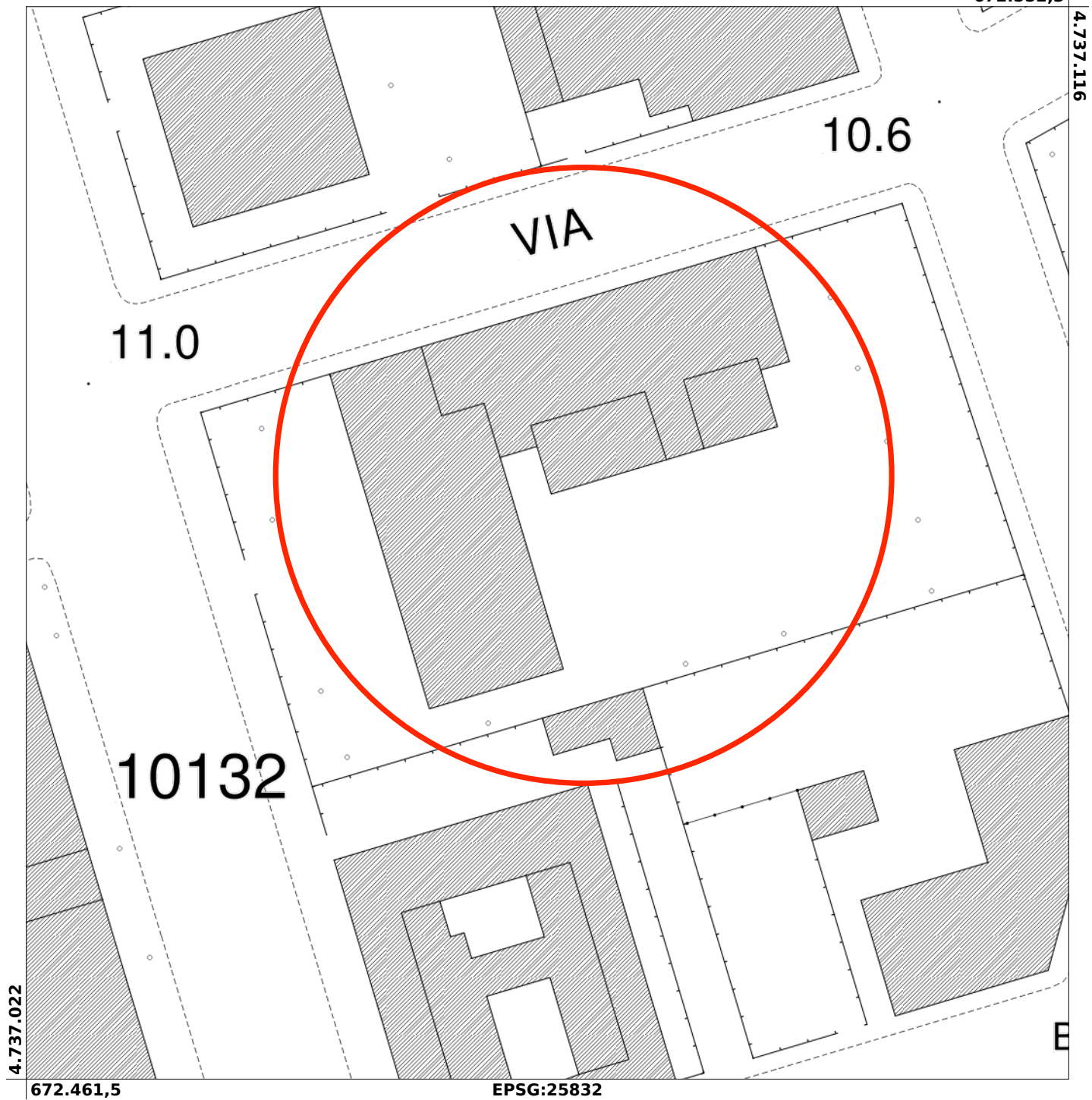


Regione Toscana - SITA: Cartoteca

Scala 1 : 500

672.552,3

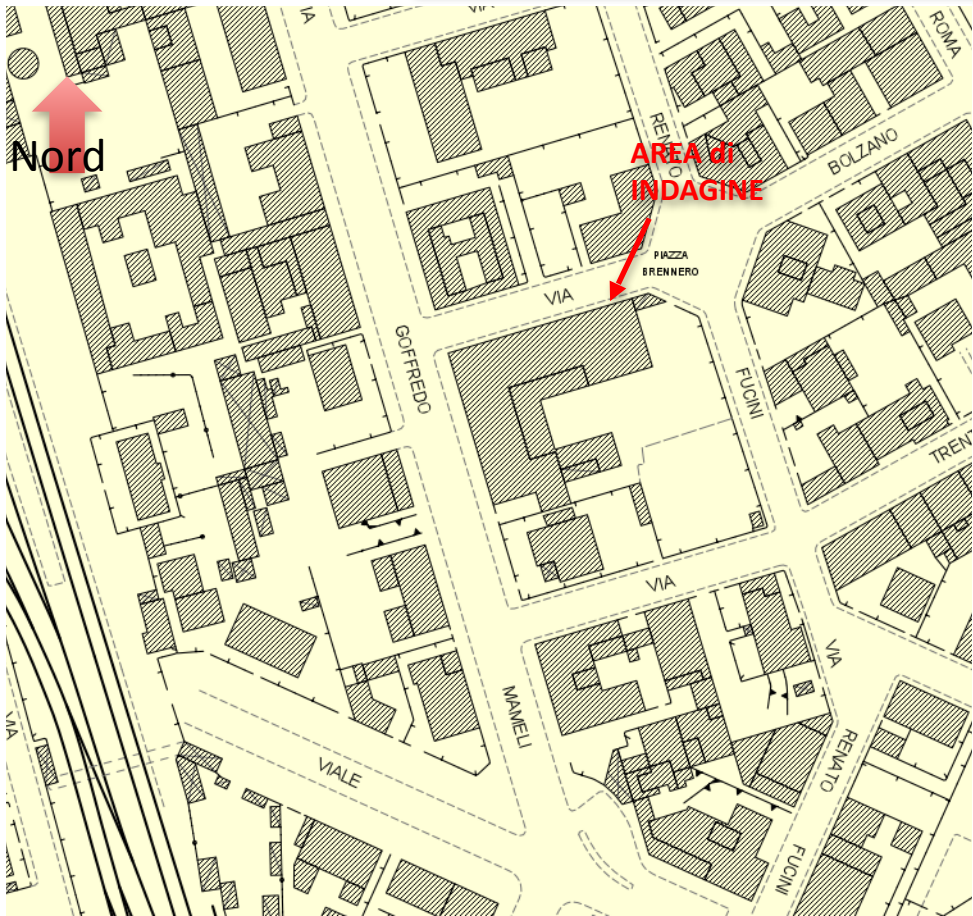
4.737.116



Ubicazione intervento

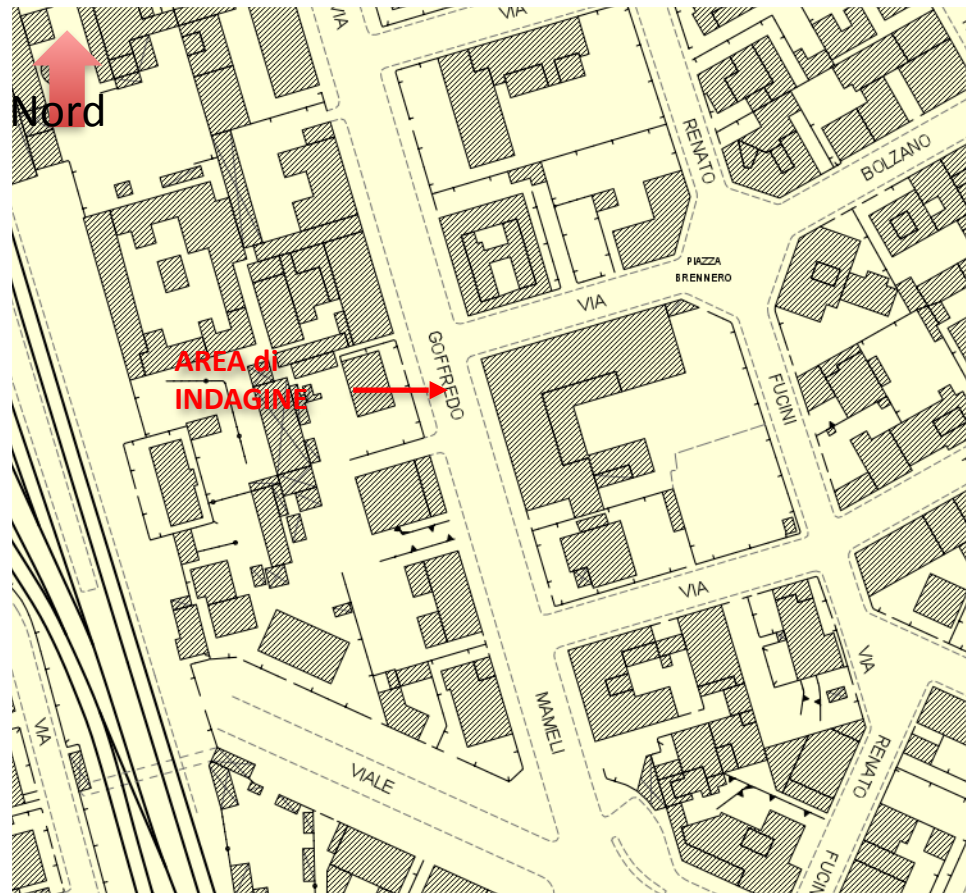
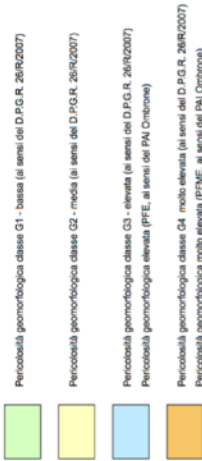
REGOLAENTO URBANISTICO

GROSSETO - Via G. MAMELI



GEO-01a Carta della pericolosità geomorfologica

Classi di pericolosità geologico-geomorfologica



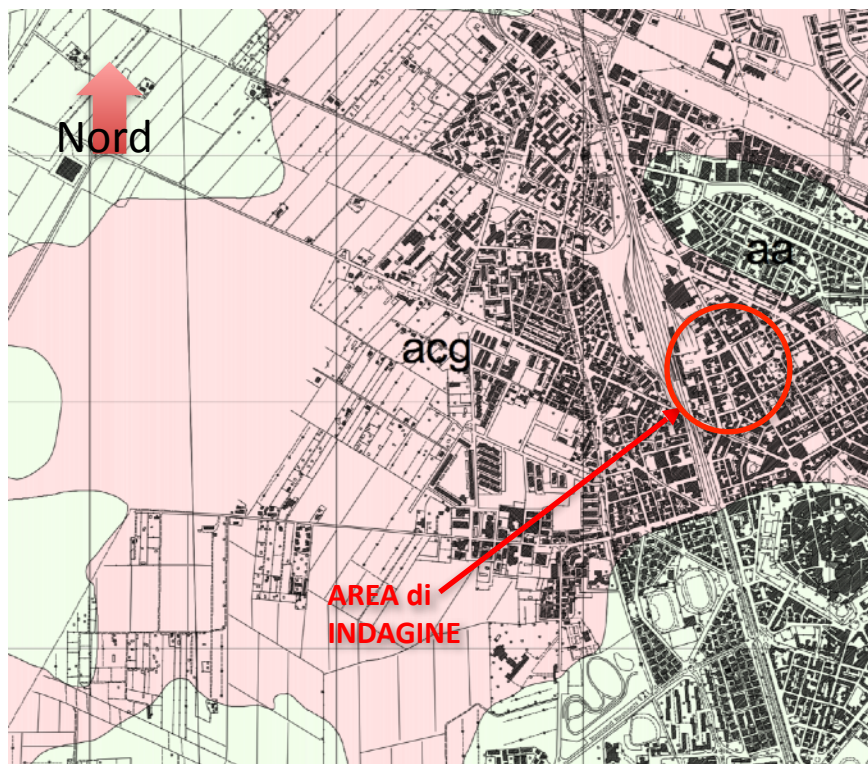
GEO-02 Carta della pericolosità idraulica

Classi di pericolosità idraulica



PIANO STRUTTURALE

GROSSETO - Via G. MAMELI

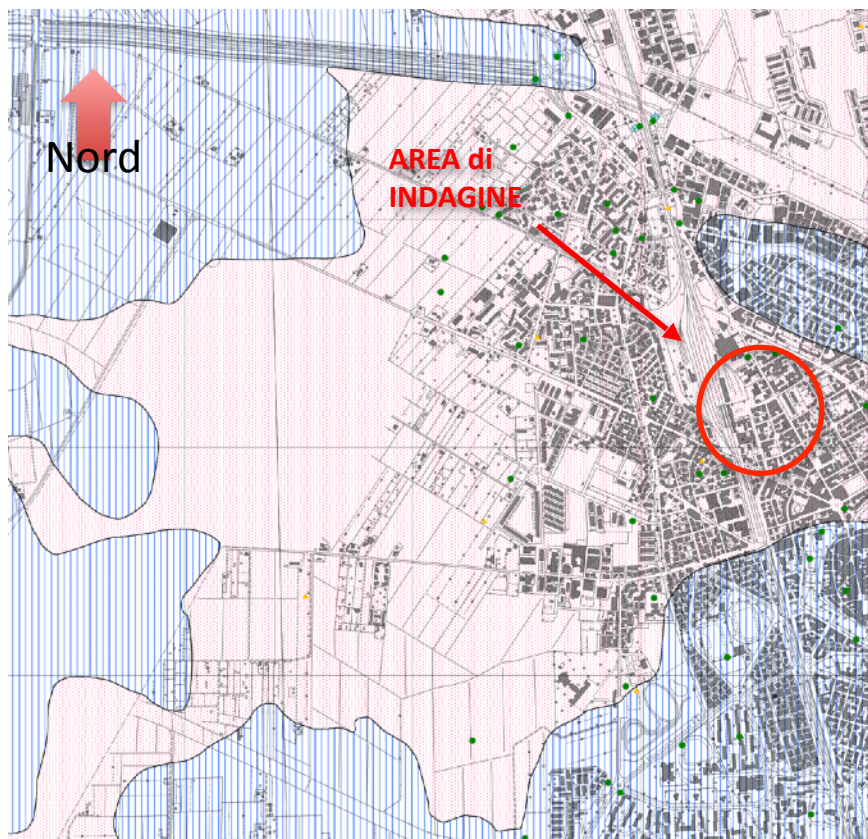


Carta Geologica

CTR 1:10000

- Dt - Detriti di falda e di versante
- aa - Sedimenti alluvionali attuali e recenti: argilla e limi argillosi, depositi corrispondenti alle zone di colmata naturale o artificiale
- as - Sedimenti alluvionali attuali e recenti: limi sabbioso-argillosi
- ag - Sedimenti alluvionali attuali e recenti: ghiaie in matrice argillosa
- acg - Sedimenti alluvionali attuali e recenti: argille sabbioso-ciottolose
- d - Sabbie sciolte del litorale e delle dune costiere
- tr - Sedimenti terroso-travertinosi
- ra - Rosso ammonitico Calcarei e calcari mamosi rossastri con ammoniti (Giurassico, Lias inf., Sinemuriano)
- cm - Calcare massiccio, con rare ed incerte tracce di stratificazione (Giurassico, Lias Inferiore)
- cr - Calcarei a Raetavicula. Calcarei neri o grigi, stratificati e con sottili intercanalizzazioni mamosse (Trias Suo-Retico)
- cv - Calcarei Cavernosi. Calcarei cavernosi grigio chiari e calcari e dolomie grigio scure (Trias Sup. Norico-Retico)
- v - Verrucano - Formazione detritico-cristallina più o meno metamorfica costituita da anageniti, quarziti ed arenarie, scisti filladici - (Trias Sup. - Carnico)

- Faglie e/o fratture
- Faglie e/o fratture incerte e/o presunte
- 0°-10°
- 10°-45°
- 45°-80°
- 80°-90°
- inclinazione, direzione ed immersione degli strati



Carta Litotecnica

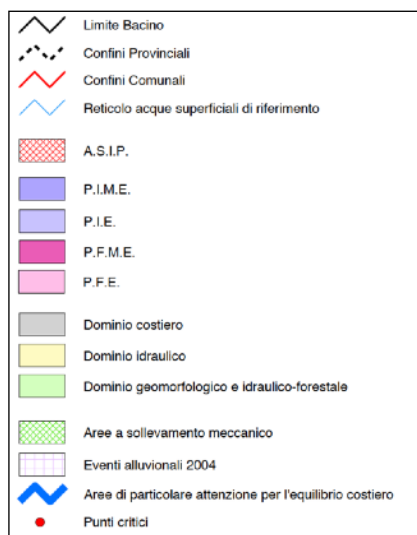
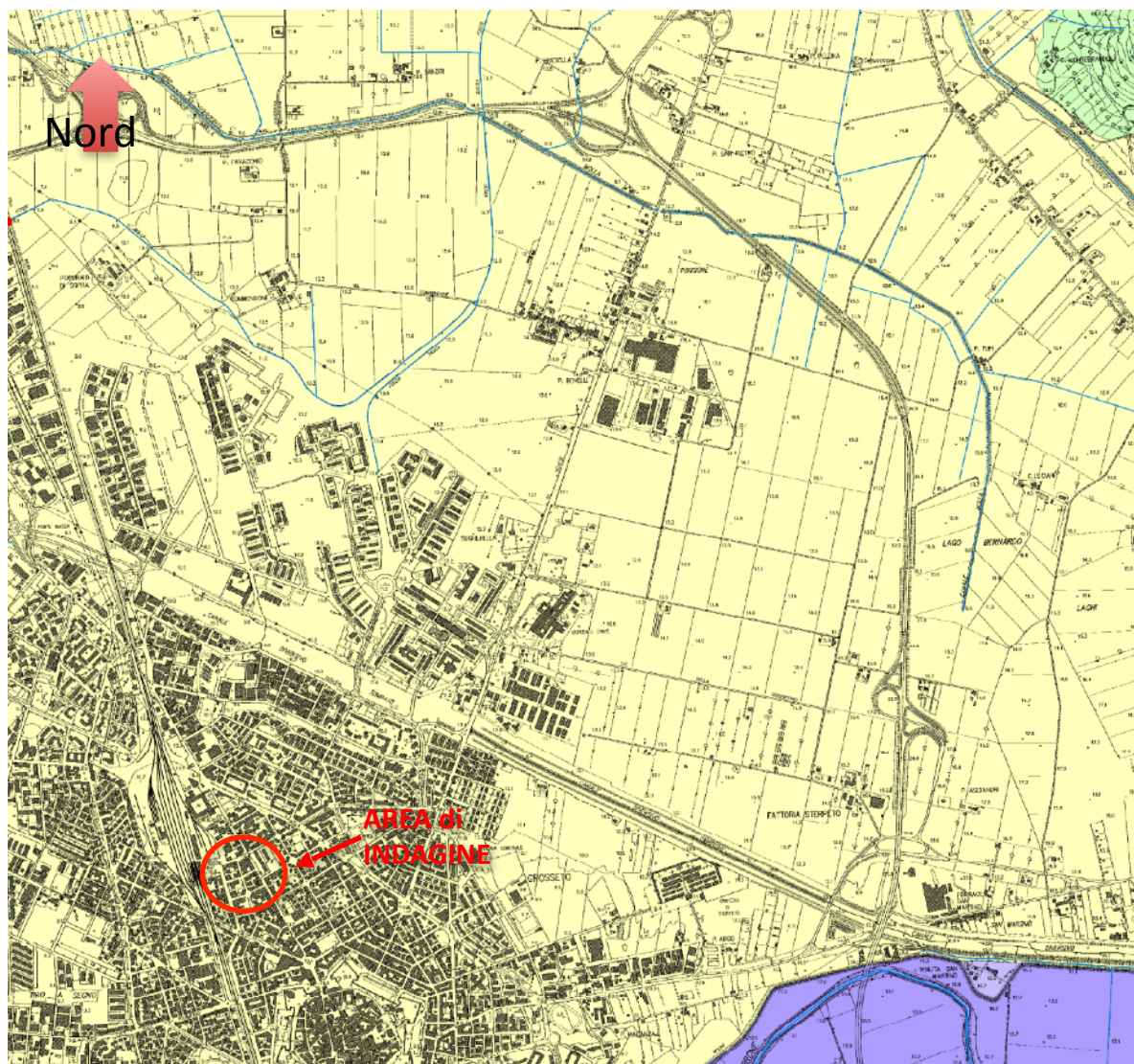
CTR 1:10000

- Unità 1 - Unità dei terreni detritici, costituiti da materiale granulare con buone caratteristiche geotecniche.
- Unità 2 - Unità dei terreni prevalentemente argillosi delle bonifiche con caratteristiche geotecniche scadenti legate al grado di consolidazione raggiunto da materiali.
- Unità 3 - Unità dei depositi alluvionali antichi, eterogenei di buoni caratteristiche geotecniche.
- Unità 4 - Unità dei depositi sabbiosi con caratteristiche geotecniche variabili in funzione del grado di addensamento e della presenza di falda.
- Unità 5 - Unità dei depositi alluvionali recenti a granulometria prevalentemente fine con comportamento geotecnico variabile, generalmente dotati di basse caratteristiche meccaniche.
- Unità 6 - Unità dei complessi rocciosi con elevata resistenza meccanica costituita in prevalenza da filipi calcarei.
- Unità 7 - Unità dei complessi metamorfici a resistenza meccanica da elevata a media.
- Unità 8 - Unità dei complessi calcarei mamosi e dolie mame a comportamento meccanico intermedio tra rocce dure e rocce tenere.
- Unità 9 - Unità strutturalmente complessa a prevalenza argillifica e marnosa, tenera, a resistenza meccanica bassa.
- Unità 10 - Unità strutturalmente complessa di flysch arenaceo con resistenza meccanica variabile in relazione alla degradabilità.
- Sondaggi Geognostici*
- Pozzetti Geognostici*
- Penetrometriche statiche e/o dinamiche*
- Altri punti di controllo del sottosuolo. (In genere pozzi per l'impingimento d'acqua)*

*Dati Getas. 1995 Variante P.R.G. In corso di aggiornamento

Bacino Idrografico Ombrone

GROSSETO - Via G. MAMELI



PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

(L. n° 183/89 - L.R. n° 91/98 - L. n° 365/2000)

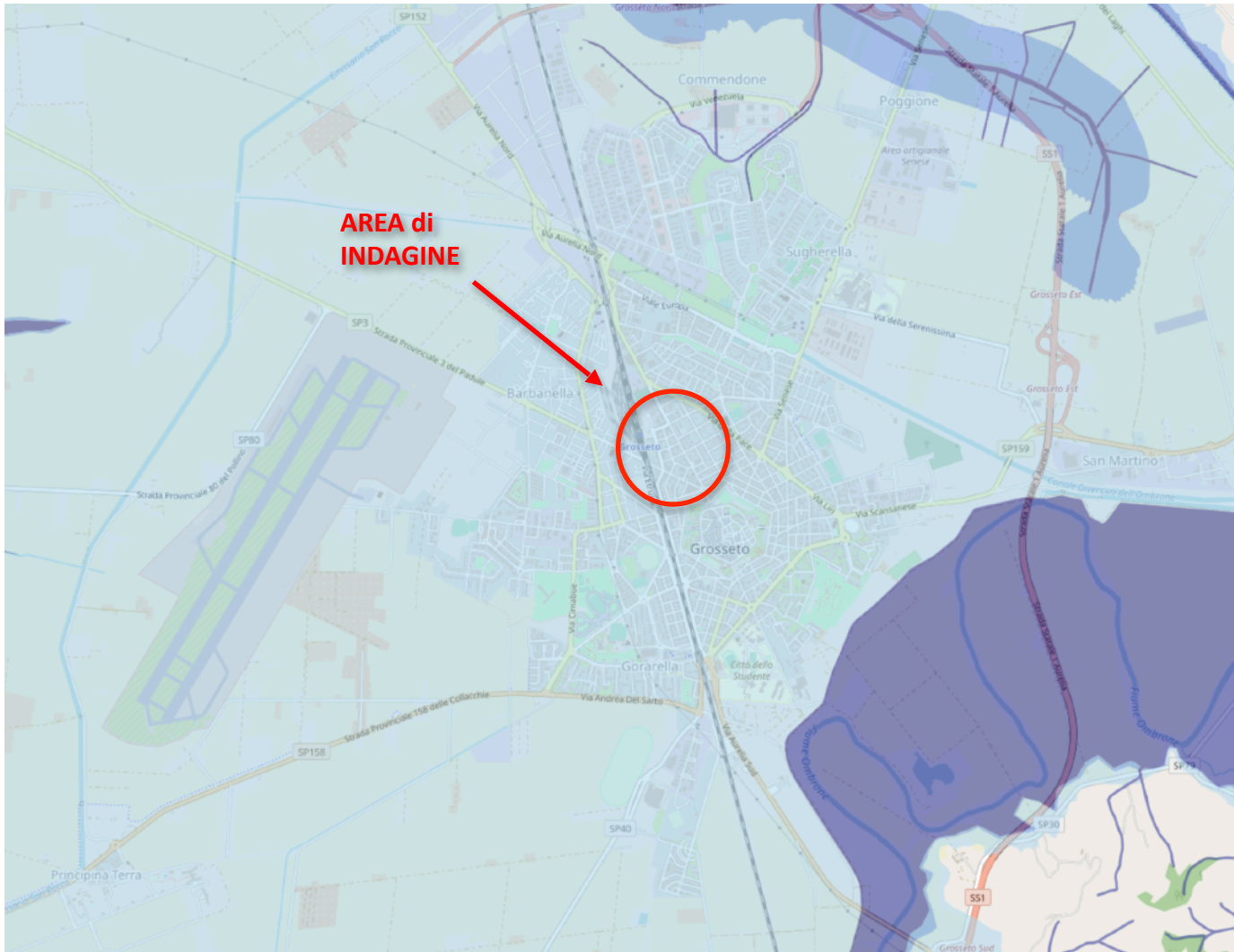
CTR 1:10000

CARTA DI TUTELA DEL TERRITORIO



PGRA - APPENNINO SETTENTRIONALE

GROSSETO - Via G. MAMELI



Limite Distretto Appennino Settentrionale (DSG n. 40 del 18/06/2018)

PGRA_ITC_Fluvial

- 1
- 2
- 3

PGRA_ITC_Coast

- 1
- 2
- 3

Distretto Appennino Settentrionale

☐ Single symbol



Classe_PGRA

Unit_of_Management

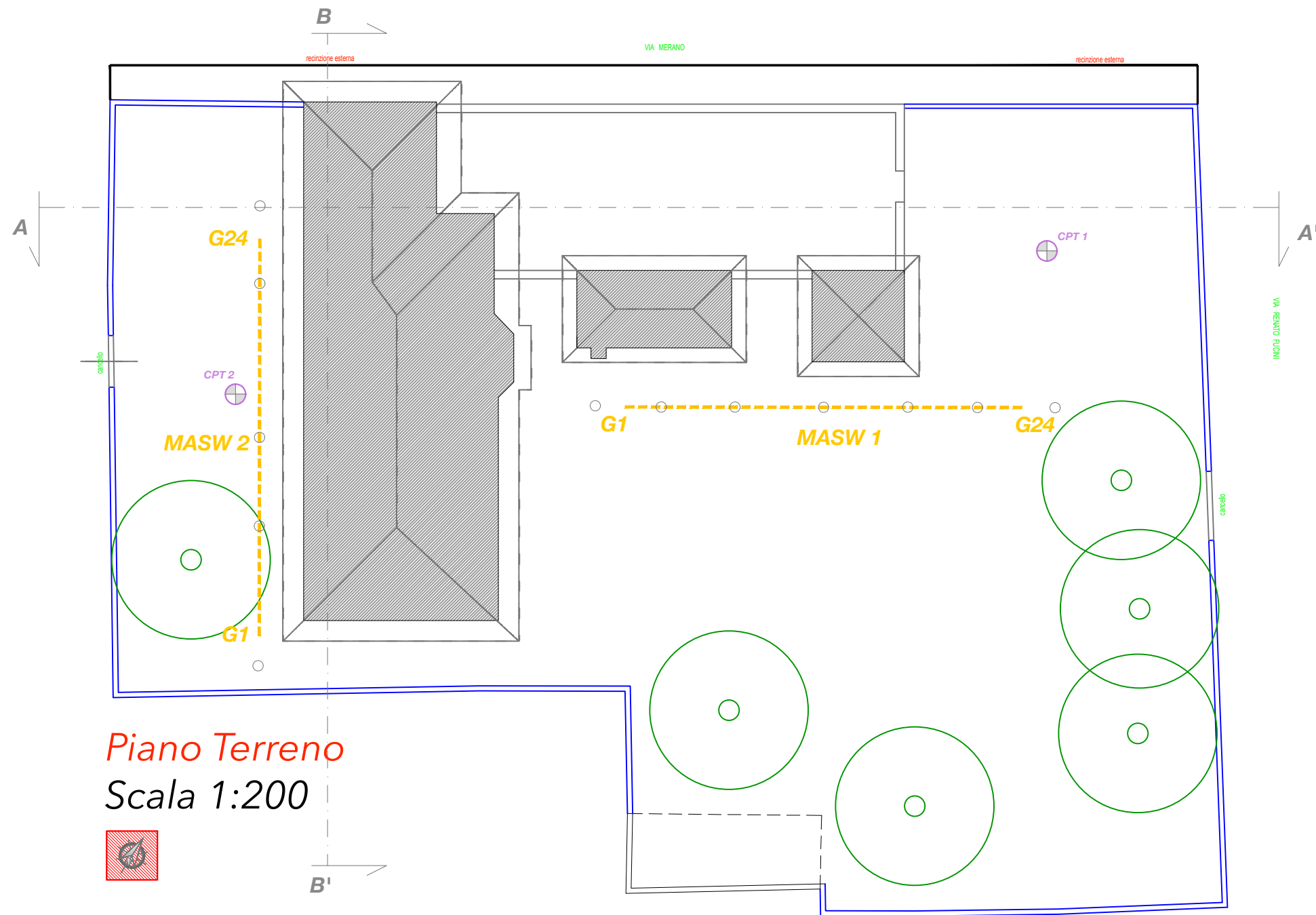
Atto_approvazione

P1

OMBRONE

DCI_235_2016

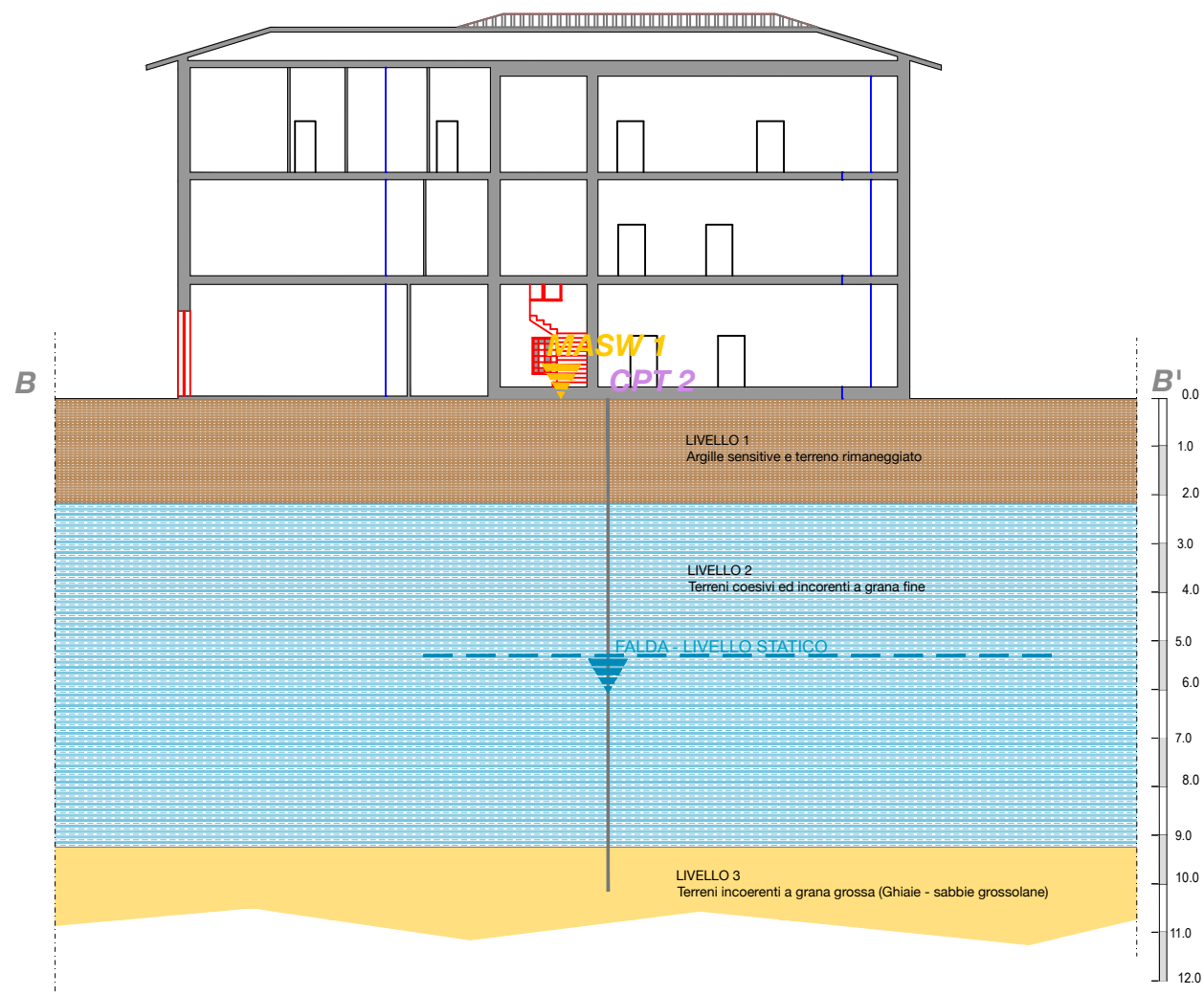
PLANIMETRIA UBICATIVA
DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO



Piano Terreno
Scala 1:200

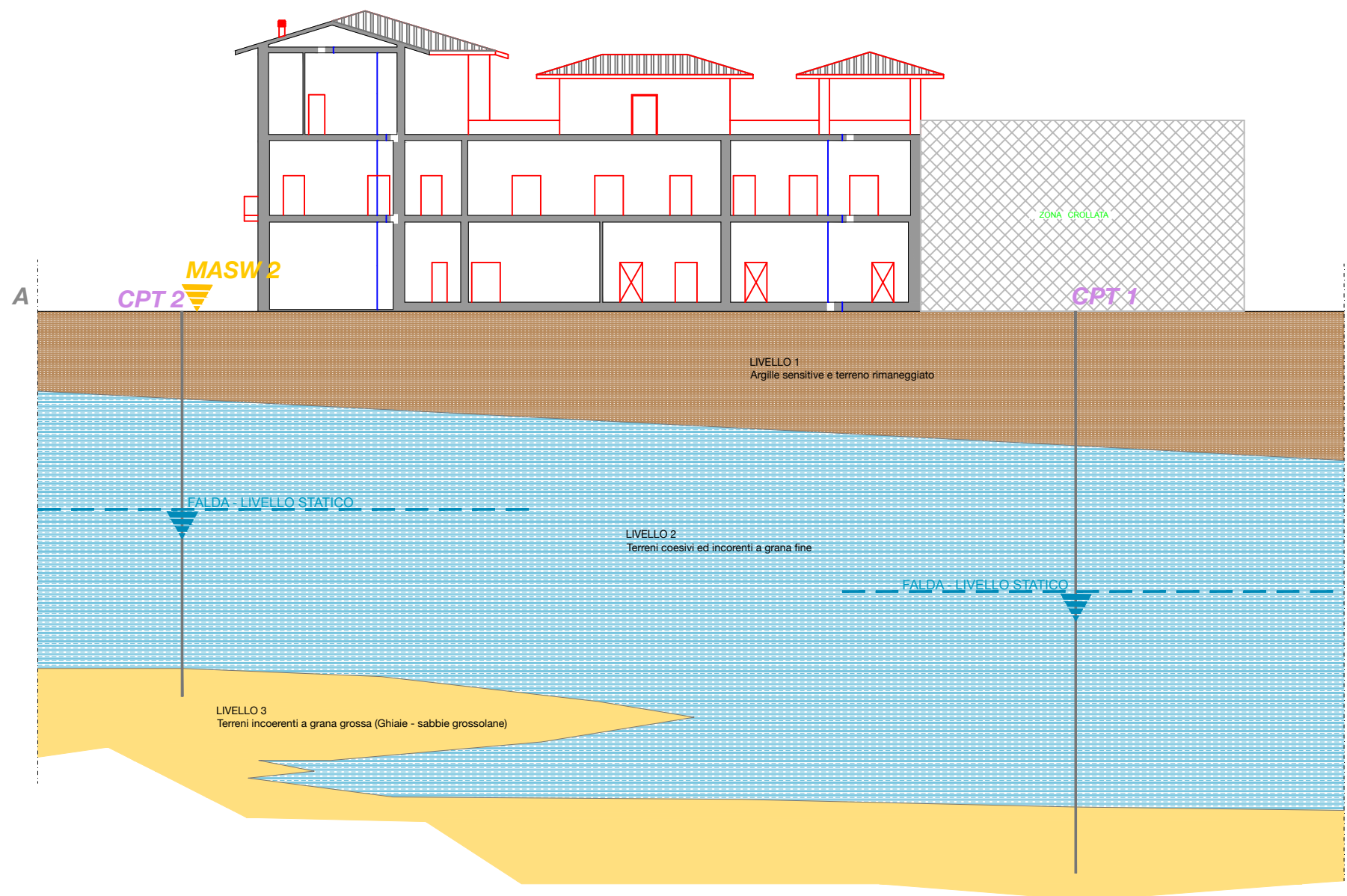
Modello LITOSTRATIGRAFICO
Scala 1:200 SEZ. B-B'

Modello Geotecnico dei livelli nel sottosuolo



Modello LITOSTRATIGRAFICO
Scala 1:200 SEZ. A-A'

Modello Geotecnico dei livelli nel sottosuolo



LEGENDA LITOLOGICA

- LIVELLO 1
Argille sensive e terreno rimaneggiato
- LIVELLO 2
Terreni coesivi ed incoerenti a grana fine
- LIVELLO 3
Terreni incoerenti a grana grossa (Ghiaie - sabbie grossolane)

LEGENDA SIMBOLISMO

- PROVA SISMICA MASW e GRM
- Prova Penetrometrica dinamica
- Visione fotografica

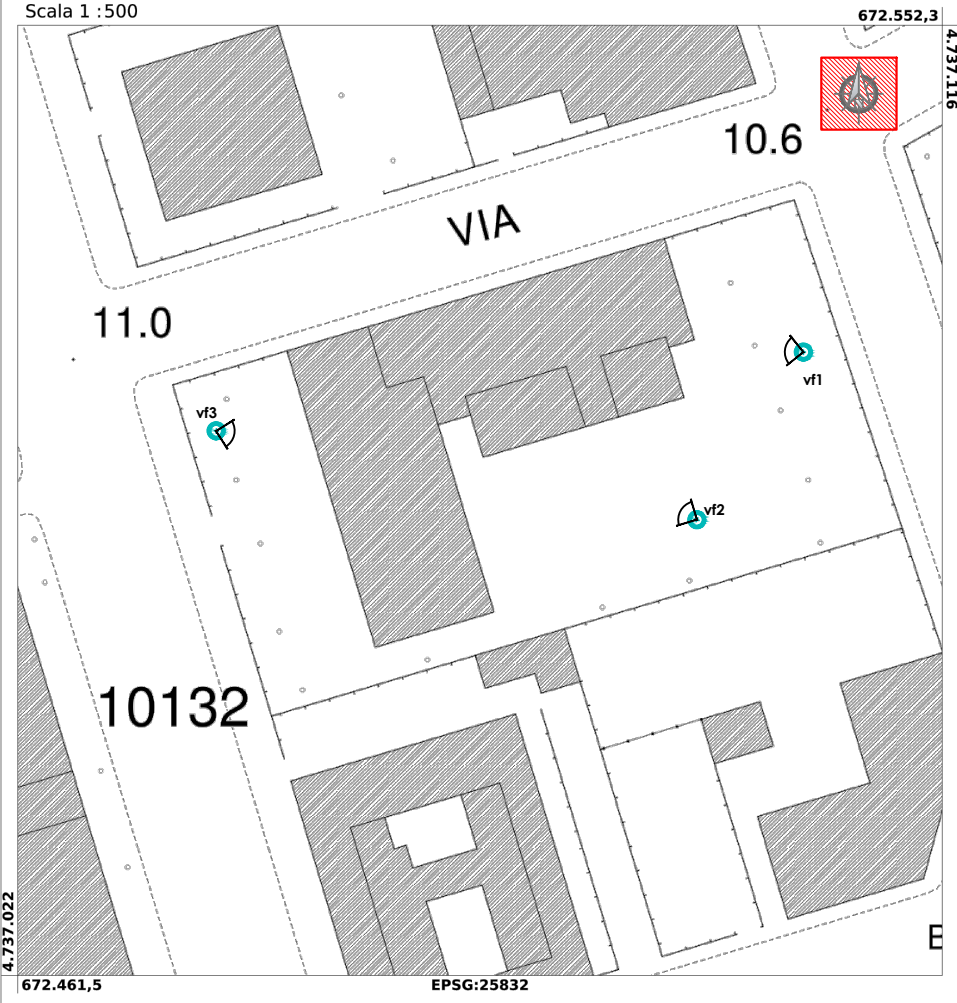
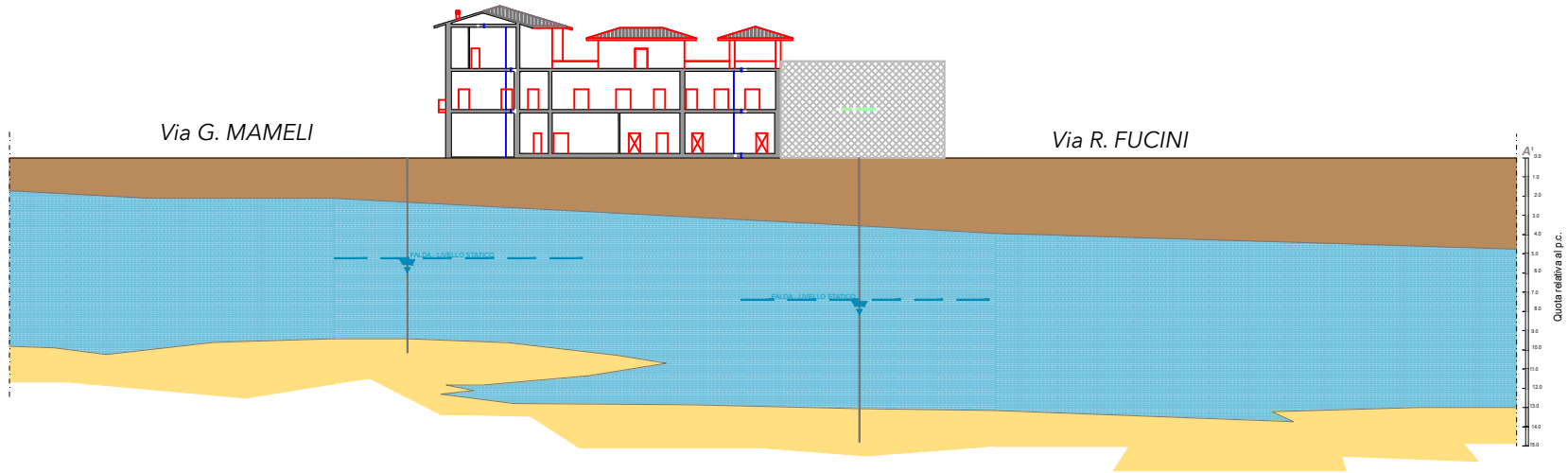
PARAMETRI MODELLO GEOTECNICO

| LIVELLO 1 | Parametro geotecnico | Valore medio (fm) | Valore car (Xk) | Valore prog (Xd) |
|-----------|---|-------------------|-----------------|------------------|
| LIVELLO 1 | ϕ - angolo di resistenza al taglio (°) | 1.72 | 1.0 | 0.7 |
| | Cu - coesione non drenata (kg/cm2) | 1.72 | 1.0 | 0.7 |
| | Cu - coesione non drenata (kg/cm2) | 1.72 | 1.0 | 0.7 |
| LIVELLO 2 | Parametro geotecnico | Valore medio (fm) | Valore car (Xk) | Valore prog (Xd) |
| | ϕ - angolo di resistenza al taglio (°) | 22.4° | 21.1° | 17.2° |
| | Cu - coesione non drenata (kg/cm2) | 2.24 | 1.3 | 0.9 |
| LIVELLO 3 | Parametro geotecnico | Valore medio (fm) | Valore car (Xk) | Valore prog (Xd) |
| | ϕ - angolo di resistenza al taglio (°) | 21.7° | 20.0° | 16.2° |
| | Cu - coesione non drenata (kg/cm2) | 21.7° | 20.0° | 16.2° |



Modello LITOSTRATIGRAFICO

Scala 1:500 SEZ. A-A'
Modello Geotecnico dei livelli nel sottosuolo (estensione delle geometrie)



T1

DATA
DICEMBRE
2018

RICHIEDENTE
COMUNE DI GROSSETO
SETTORE LAVORI PUBBLICI
SERVIZIO EDILIZIA ISTITUZIONALE, SCOLASTICA E BENI VINCOLATI

OGGETTO
Relazione Geologica e parametrizzazione Geotecnica di
supporto alle verifiche statiche e sismiche del fabbricato
denominato "EX Garibaldi" posto in via Mameli a Grosseto -
CIG: ZBD25CF4EB

Geol. Uccelletti Fabrizio
Via Mameli 4 - 58100 - GROSSETO
Tel. 0564/454545
Cell. 339.82.82.82
Email: uccelletti.fabrizio@gmail.com
PEC: mail.uccelletti.fabrizio@pec.com

PAD