

**CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE
COMUNE DI SAN CASCIANO VAL DI PESA**

**TAVOLA F
RELAZIONE DI FATTIBILITÀ
GEOLOGICA**

**PIANO ATTUATIVO AREA DI TRASFORMAZIONE
"AT30"- AI SENSI DELL'ART. 110 COMMA 1 DEL RUC -
PER LA REALIZZAZIONE DI EDIFICI ABITATIVI IN S.
CASCIANO V.P. LOCALITÀ LA ROMOLA VIA DEI PINI**

NORME DI RIFERIMENTO

- D.M. 14.01.2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni
- D.P.G.R. 36/R del 09.07.2009
- D.P.G.R. n.53/R del 25.10.2011
- Legge Forestale della Toscana L.R. n.39 del 21.03.2000
- DPGR 48/R del 08.08.2003

DOTT. GEOL. CARLO BEGLIOMINI
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA N° 543

Carlo Begliomini



COMMITTENTE
GHERI COSTRUZIONI S.R.L.

Impatto Zero

Consulenza
Ambientale
Via Empolese,114
50020 Cerbaia
www.impactozero.fi.it
cbegliomini@impactozero.fi.it

Tecnica

Rev	Data	File / Note
Revisione 1	Maggio 2016	
Revisione 2	Novembre 2017	

Sommario

1.	Normativa di riferimento	3
2.	Premessa	3
3.	Descrizione degli interventi.....	3
4.	Inquadramento dell'area.....	3
5.	Aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici	4
5.1	Aspetti geologici	4
5.3	Aspetti geomorfologici	4
5.4	Aspetti idrogeologici.....	5
6.	Analisi delle condizioni di pericolosità	5
6.1	Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale: Piano Gestione Rischio Alluvioni.....	5
6.2	Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale: Piano Assetto Idrogeologico	5
6.3	Strumento urbanistico – Variante al Piano Strutturale: Pericolosità idraulica	6
6.4	Strumento urbanistico – Variante al Piano Strutturale: Pericolosità geologica.....	6
6.5	Strumento urbanistico – Regolamento Urbanistico: Pericolosità sismica	6
7.	Analisi delle condizioni di fattibilità	6
8.	Indagini geognostiche	8
8.1	Prove penetrometriche	8
8.2	Indagine sismica	9
8.3	Calcolo del parametro Vs30	10
9.	Modello geologico	10
10.	Azione sismica	12
11.	Conclusioni	15

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) – Autorità di Bacino Fiume Arno;
- Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del fiume Arno;
- Legge Regione Toscana 3 gennaio 2005, n. 1 “Norme per il governo del territorio” e s.m.i;
- D.P.G.R. 27 aprile 2007, n. 26/R Regolamento di attuazione dell’articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche;
- D.P.G.R. 25 ottobre 2011, n. 53/R Regolamento di attuazione dell’articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche;
- P.T.C.P. della provincia di Firenze;
- Variante al Piano Strutturale Comune di San Casciano Val di Pesa (adottato con Deliberazione del Consiglio Comunale n. 67 del 3/10/2016 e approvato con deliberazione del Consiglio Comunale n. 41 del 19/06/2017).
- Regolamento Urbanistico Comune di San Casciano Val di Pesa (approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.43 del 18.06.2012) e smi.

2. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta, su incarico della società Gheri Costruzioni S.r.l. e dell’Arch. Giovanni Gargani, come relazione di fattibilità geologica a supporto del piano attuativo area di trasformazione “AT30” posta in San Casciano in Val di Pesa, località La Romola Via dei Pini.

Il presente studio si propone di fornire un inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico dell’area e di analizzare le condizioni di fattibilità dell’intervento in progetto.

Per la redazione del presente elaborato è stato fatto riferimento a varie cartografie tematiche già realizzate e relative alle Indagini Geologico-Tecniche di supporto alla Variante Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico del Comune di San Casciano in Val di Pesa riportate in allegato.

3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

La superficie dell’area di lottizzazione, come valutato nella scheda AT-30, corrisponde a circa 2915 mq.

Il presente Piano di Lottizzazione prevede la realizzazione di edifici ad uso residenziale e le relative opere di urbanizzazione.

Il progetto attuativo prevede la realizzazione di n. 2 edifici (volume totale circa 5100 mc) a destinazione d’uso abitativa, composti da due livelli abitabili e un livello seminterrato destinato a garage. I due edifici avranno dimensioni tra loro diverse e saranno composti da n. 2 abitazioni nel blocco piccolo e n. 4 abitazioni in quello più grande. Le abitazioni del primo blocco saranno tutte con accesso autonomo mentre il secondo blocco avranno il vano scala condominiale che servirà le abitazioni dei piani più alti.

Per maggiori dettagli si rimanda al progetto redatto dall’Arch. Gargani.

4. INQUADRAMENTO DELL'AREA

L’area d’indagine è cartografata all’elemento 275 060 in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale della Toscana e catastralmente individuata nel Foglio di mappa n. 1 particella n. 17, di cui occupa una parte.

La corografia dell'area d'interesse è riportata in Figura 1.

Le coordinate geografiche del sito in esame risultano essere, sia secondo il sistema di riferimento WGS84 (World Geodetic System, 1984) che ED50 (European Datum 1950), le seguenti:

WGS84	Latitudine: 43,698978;	Longitudine: 11,160395
ED50	Latitudine: 43,699938;	Longitudine: 11,161379

L'area di studio ricade in zona sottoposta a Vincolo Idrogeologico.

5. ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

5.1 Aspetti geologici

Il substrato dei depositi marini dell'area è costituito da formazioni geologiche composte da rocce compatte, stratificate, depostesi in ambiente marino dal Cretaceo al Miocene. Queste si sono sedimentate in zone lontane ed in bacini diversi, e solamente in seguito sono state coinvolte nell'orogenesi appenninica subendo accavallamenti e traslazioni di varia entità.

Sopra questi terreni sono sedimentate le formazioni plioceniche che appartengono invece tutte al ciclo Sedimentario del Neautoctono Toscano; questi terreni si sono deposti durante la regressione pliocenica e derivano dallo smantellamento della catena appenninica.

Dal punto di vista geostrutturale sono presenti i motivi del sovrascorrimento del tetto della falda Toscana, sopra la quale a sua volta sono sovrapposte, perché infilate durante la fase di deformazione plastica delle grandi falde a vergenza NW-SE, le unità Liguri (Argille a Palombini, Sillano, Monte Morello, etc.). Alla fine del Miocene con la generale emersione si ha la formazione della dorsale del Chianti e quindi dei rilievi soprastanti Mercatale, Valigondoli, seguita da una fase di subsidenza, che ha determinato un'ingressione marina e successivamente una regressione, con la deposizione dei complessi neo-autoctoni argillosi, sabbiosi e ciottolosi.

La Carta Geologica allegata alla Variante al Piano Strutturale riporta la presenza di materiali litoidi afferenti alla Formazione del Macigno, costituita da Arenarie quarzoso-feldspatico-micacee gradate, in strati di potenza variabile, con livelli più sottili di siltiti. Lo spessore degli strati di arenaria è rilevante (raramente inferiore al mezzo metro, raggiunge talora alcuni metri), viceversa gli strati siltitici presentano spessori assai ridotti (3-4 cm).

Dal punto di vista litotecnico tali terreni afferiscono all'Unità litologico-tecnica B, materiale lapideo stratificato o costituito da alternanze di diversi litotipi, in particolare afferiscono all'unità B3.r1/4p5/6.d4/5 costituita da alternanza di roccia lapidea - pelite con rapporto r/p > 75%, con livelli lapidei mediamente resistenti e deboli livelli pelitici deboli e caratterizzata da discontinuità con spaziatura da fitta a molto fitta".

5.3 Aspetti geomorfologici

Lo studio geomorfologico si propone di individuare, attraverso un'analisi delle forme del paesaggio, i processi morfogenetici che agiscono nell'area e che nel loro insieme costituiscono la dinamica morfologica.

Tutta la zona presenta i caratteri paesaggistici tipici della collina toscana di ambiente pliocenico: i rilievi sono, in genere, poco elevati con quote massime da 80 a circa 300 m s.l.m., i versanti, in genere dolcemente inclinati, sono lunghi e frequentemente rotti da

piccole scarpate che si localizzano in corrispondenza di livelli sedimentari meno erodibili.

Il lotto di intervento è posto un'area collinare con quote comprese tra 230 e 240 m s.l.m., in un'area caratterizzata da pendenze comprese tra 25 – 35%.

Secondo quanto riportato dalla Carta Geomorfologica allegata alla Variante al Piano Strutturale l'area risulta interessata da fenomeni di soil creep attivi di secondo livello che presentano segni di attivazione o riattivazione dal 1996.

5.4 Aspetti idrogeologici

I terreni affioranti nell'area sono caratterizzati da una permeabilità di tipo primario, per il sottile strato superficiale, mentre i terreni più profondi della formazione del Macigno la permeabilità è di tipo secondario cioè legata quindi all'entità dei sistemi di fratturazione che interessano il substrato.

Come si può osservare dall'analisi della Carta Idrogeologica allegata alla Variante al Piano Strutturale del Comune di San Casciano in Val di Pesa l'area oggetto risulta compresa nell'Unità MP-S a permeabilità media per fratturazione secondaria, legata alla presenza di arenarie più o meno fratturate a vulnerabilità medio-bassa.

In questa zona la falda risulta avere profondità superiori ai 15 m.

6. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ

6.1 Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale: Piano Gestione Rischio Alluvioni

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 sono stati adottati i Piani di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia, realizzati dalle UoM del distretto, successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato.

Per il territorio del bacino del fiume Arno, dalla pubblicazione del PGRA (22 dicembre 2015), per la parte relativa alla pericolosità idraulica, trovano applicazione le mappe relative alla pericolosità da alluvione contenute nel PGRA e adottate con Deliberazione n. 231 del 17/12/2015. Tale mappe sostituiscono quelle del PAI.

L'area oggetto di studio non risulta cartografata tra le aree a pericolosità da alluvione.

6.2 Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale: Piano Assetto Idrogeologico

Nella cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico, stralcio n. 67, livello di sintesi, la zona oggetto di studio risulta cartografata in parte tra le aree caratterizzate da pericolosità media da processi geomorfologici di versante (P.F.2) che comprende le aree apparentemente stabili, interessate da litologie con caratteri intrinsecamente sfavorevoli alla stabilità dei versanti e in parte a pericolosità moderata (P.F.1) che caratterizza le aree apparentemente stabili ed interessate da litologie con caratteri favorevoli alla stabilità dei versanti che, talora, possono essere causa di rischio reale o potenziale moderato.

Nelle aree P.F.2 è consentita ogni tipologia di intervento prevista dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.

6.3 Strumento urbanistico – Variante al Piano Strutturale: Pericolosità idraulica

Nella Carta delle aree allagabili dei Rii minori che riporta le aree allagabili derivanti dallo studio qualitativo, allegata al PS, il sito oggetto di intervento ricade all'esterno delle aree allagabili, ne deriva, pertanto, l'assenza di pericolosità idraulica.

6.4 Strumento urbanistico – Variante al Piano Strutturale: Pericolosità geologica

La variante al Piano Strutturale definisce, a partire dalla cartografia geomorfologica, geologica e litotecnica, le aree a pericolosità geologica facendo riferimento al Regolamento 53/R e alle prescrizioni operative definite dall'Autorità di Bacino del fiume Arno e dal Genio Civile della Regione Toscana.

La carta della pericolosità geologica indica la zona come appartenente in parte alla classe a pericolosità elevata G3 a cui corrispondono le “*aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti e relative aree di influenza; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%*” e in parte alla classe a pericolosità media G2 che comprende le “*aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%*”.

6.5 Strumento urbanistico – Regolamento Urbanistico: Pericolosità sismica

Ai sensi della Del. GRT n° 878 del 8/10/2012 (Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14/01/2008) il Comune di San Casciano in Val di Pesa è inserito in **Zona sismica 3, fascia di pericolosità C** (ag = 0,123g).

In occasione della Variante al Piano Strutturale è stato condotto uno studio di microzonazione sismica di livello 1; la zona oggetto di studio risulta appena esterna all'area interessata dallo studio, come evidenziato in Figura 6.

Tuttavia si ritiene di poter classificare anche l'area di intervento a pericolosità sismica locale media S.2 che comprende le zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

7. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI FATTIBILITÀ

La trasformabilità del territorio è strettamente legata alle situazioni di pericolosità e di criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano ed è connessa ai possibili effetti (immediati e permanenti) che possono essere indotti dall'attuazione delle previsioni dell'atto di governo del territorio.

Le condizioni di attuazione sono riferite alla fattibilità delle trasformazioni e delle funzioni territoriali ammesse, fattibilità che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni delle destinazioni d'uso del territorio in funzione delle situazioni di pericolosità riscontrate, nonché in merito agli studi e alle indagini da effettuare a livello attuativo ed edilizio e alle opere da realizzare per la mitigazione del rischio, opere che sono da definire sulla base di studi e verifiche che permettano di acquisire gli elementi utili alla predisposizione della relativa progettazione.

Per quanto riguarda le prescrizioni dettate dall’Autorità di Bacino del Fiume Arno, date le condizioni di pericolosità analizzate precedentemente, non si rilevano limitazioni di fattibilità per l’intervento in progetto.

Negli strumenti urbanistici comunali la fattibilità è distinta in funzione delle situazioni di pericolosità per fattori geomorfologici, idraulici e sismici, ai fini di una più adeguata definizione delle condizioni di attuazione delle previsioni, delle indagini di approfondimento da effettuare a livello attuativo ed edilizio, delle opere necessarie per la mitigazione del rischio.

Per il comparto in oggetto, in allegato al Regolamento Urbanistico, è stata predisposta una specifica scheda di fattibilità che indica in funzione della pericolosità dell’area e della tipologia di intervento le condizioni di fattibilità per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, idraulici e sismici.

Fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici:

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici viene attribuita una classe di fattibilità condizionata F3 che si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, vengono indicate la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessivi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

In particolare nella scheda di fattibilità AT 30-La Romola vengono indicate le seguenti prescrizioni di cui tenere conto in fase di progettazione esecutiva:

- *le opere in progetto dovranno tener conto di un’adeguata progettazione idraulica locale in modo da evitare i rischi di erosione nel rispetto di quanto indicato nel dettaglio e per esteso nel punto 3.2.1 delle Direttive del D.P.G.R. 26/R del 27/04/2007;*
- *gli eventuali interventi di messa in sicurezza devono comunque essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;*
- *possono essere attuati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i processi geomorfologici presenti nell’area (della sussistenza di tali condizioni deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all’attività edilizia);*
- *il progetto dovrà inoltre tenere in considerazione l’assetto morfologico finale in modo da garantire il corretto deflusso delle acque;*
- *si prescrive l’esecuzione di adeguati calcoli di stabilità del versante nelle condizioni di progetto, l’esecuzione di adeguati calcoli di stabilità dei fronti di scavo con la finalità di valutare l’opportunità di realizzare eventuali opere di sostegno, da progettare in relazione alle risultanze degli approfondimenti geotecnici eseguiti;*
- *saranno inoltre da prevedere opere di contenimento a valle della porzione di versante interessata dalle operazioni di sbancamento (a tergo degli edifici in progetto), le quali dovranno essere progettate tenendo in considerazione i risultati delle indagini geognostiche esecutive;*
- *a supporto del progetto esecutivo dovranno essere realizzate ulteriori specifiche indagini geotecniche (sondaggi geognostici con prelievo di campioni e analisi di laboratorio delle terre) e relazione geologica e geotecnica, nel rispetto della normativa sismica e tecnica per le costruzioni vigente.*

Procedendo mediante Piano Attuativo la presente relazione geologica di fattibilità risponde alle ulteriori prescrizioni riportate nella scheda di fattibilità allegata al

Regolamento Urbanistico che prescrive approfondimenti geognostici tali da poter implementare le conoscenze relative alle problematiche geotecniche e definire in via preliminare il modello geologico atteso.

Pertanto, al fine di implementare le conoscenze relative alle problematiche geotecniche e definire in via preliminare il modello geologico atteso, sono state eseguite:

- n. 2 prove penetrometriche in modalità dinamica;
- indagine geofisica di superficie mediante sismica a rifrazione e tomografia sismica con onde P/SH e metodologia MASW.

Fattibilità in relazione agli aspetti idraulici:

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici viene attribuita una classe di fattibilità senza particolari limitazioni F1, pertanto non sono dettate condizioni specifiche dovute a limitazioni di carattere idraulico.

Fattibilità in relazione agli aspetti sismici:

Per quanto riguarda gli aspetti sismici viene attribuita una fattibilità con normali vincoli. Nella scheda di fattibilità allegata al Regolamento Urbanistico indica comunque la necessità di indagini sismiche nel rispetto del D.P.G.R. 36/R del 09.07.2009, che, per interventi in classe 3, prevede indagini sismiche a rifrazione o riflessione per la definizione della categoria di sottosuolo e delle geometrie sepolte.

Come indicato precedentemente tali indagini sono state eseguite a supporto della presente relazione e analizzate di seguito.

8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione dell'assetto litostratigrafico del sottosuolo, conformemente a quanto previsto dal Regolamento Urbanistico, sono state realizzate:

- n. 2 prove penetrometriche in modalità dinamica;
- indagine geofisica di superficie mediante sismica a rifrazione e tomografia sismica con onde P/SH e metodologia MASW.

L'ubicazione delle indagini è riportata alla Figura 7.

Di seguito vengono descritte le modalità di esecuzione delle indagini suddivise per le varie tipologie.

8.1 Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche sono state eseguite dalla ditta GEOGNOSTICA FIORENTINA S.r.l. il 04/04/2015 utilizzando un penetrometro DM-30, data la difficoltà di accesso con altro tipo di strumentazione.

Le prove penetrometriche sono state eseguite in modalità dinamica, la prova consiste nel misurare il numero N_{10} di colpi necessari ad infiggere la punta ogni 10 cm di profondità, utilizzando un maglio di peso pari a 30 Kg con un'altezza di caduta di 0,20 m. Questo tipo di prova consente una valutazione della resistenza offerta dal terreno all'avanzamento della punta, fornendo indicazioni sulla consistenza dei terreni attraversati.

I diagrammi penetrometrici riportano, in relazione alla profondità, i valori del numero di colpi per un avanzamento di 10 cm, $N(10)$, e la resistenza dinamica, ottenuta con la Formula Olandese, R_d in kg/cm^2 .

Il valore medio del numero di colpi per ogni strato viene correlato con il valore N_{spt} tramite un coefficiente pari 0,766.

Entrambe le prove sono state condotte fino a rifiuto, rispettivamente a 1 m e 1,5 m.

8.2 Indagine sismica

Al fine di caratterizzare le litologie presenti nell'area d'indagine, nonché determinare le geometrie dei terreni (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo in funzione dell'andamento in profondità della velocità delle onde sismiche è stata eseguita un'indagine consistente in due linee sismiche analizzate, la prima, mediante tomografia sismica con onde P, la seconda mediante tomografia sismica con onde Sh e metodologia MASW.

I dati ottenuti sono stati elaborati anche con metodologia tomografica che permette, attraverso un maggior numero di "energizzazioni", di ottenere un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura. Per il calcolo delle velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette Vs30), oltre all'analisi della rifrazione con onde SH è stata effettuata un'analisi spettrale delle onde di superficie con metodologia MASW.

Per quanto riguarda la metodologia d'indagine, lo schema operativo, le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati si rimanda alla relazione tecnica, in allegato, prodotta dalla Geognostica Fiorentina.

LINEA SISMICA 1

L'elaborazione con tecnica tomografica del profilo sismico ha permesso di ottenere una sezione sismica nella quale viene riportato l'andamento nel sottosuolo delle velocità delle onde P.

Il sottosuolo indagato può essere suddiviso in tre sismostrati distinti:

- primo sismostrato: strato aerato con spessore di circa un metro. Il limite di tale sismostrato è collocabile intorno alle curve di isovelocità dei 400 m/s;
- secondo sismostrato: costituito dalla porzione parzialmente alterata della formazione litoide (Macigno), si presenta piuttosto regolare, si approfondisce leggermente nella seconda metà della linea (verso monte). Le profondità variano da circa 5 a 7 m. Le velocità sismiche che delimitano il presente sismostrato si ritiene possano essere collocate intorno a 1.600 m/s;
- bedrock: i terreni caratterizzati da velocità sismiche superiori a 1.600 m/s sono stati attribuiti alla presenza del bedrock caratterizzato da una elevata compattezza. La sua presenza è emersa lungo tutto lo stendimento, con profondità del tetto di circa 5 m da p.c. nella zona interessata dall'intervento.

LINEA SISMICA 2

L'elaborazione con tecnica tomografica del profilo sismico ha permesso di ottenere una sezione sismica nella quale viene riportato l'andamento nel sottosuolo delle velocità delle onde SH.

Anche analizzando la seconda linea sismica il sottosuolo indagato può essere suddiviso in tre sismostrati distinti:

- primo sismostrato: strato aerato con spessore di circa un metro. Il limite di tale sismostrato è collocabile intorno alle curve di isovelocità dei 200 m/s;
- secondo sismostrato: costituito dalla porzione parzialmente alterata della formazione litoide (Macigno), si presenta regolare lungo tutto il profilo. Le profondità variano da circa 3 a 5 m. Le velocità sismiche che delimitano il presente sismostrato si ritiene possano essere collocate intorno a 800 m/s;
- bedrock: i terreni caratterizzati da velocità sismiche superiori a circa 800 m/s sono stati attribuiti alla presenza del bedrock caratterizzato da una elevata compattezza. La sua presenza è emersa lungo tutto lo stendimento con profondità del tetto mediamente di circa 4 m da p.c.

In entrambe le linee sismiche le tomografie ottenute hanno messo in evidenza un sottosuolo caratterizzato da terreni dotati di buone caratteristiche sismiche, infatti già a circa 1 m dal p.c. si rinvencono, seppur in forma alterata, le litologie della formazione del Macigno. Inoltre le velocità sismiche tendono a crescere regolarmente con la profondità, denotando un miglioramento progressivo delle caratteristiche dei terreni interessati.

La seconda linea sismica è stata analizzata anche mediante analisi MASW (analisi della dispersione delle onde di Love).

I risultati ottenuti con quest'ultima metodologia d'indagine concordano sostanzialmente con i precedenti ottenuti con la tomografia con onde SH. Il modello sismostratigrafico indica la presenza di terreni con velocità delle onde sismiche riferibili all'alterazione del substrato che mediamente si trova a circa 4.0 m da p.c. Le velocità sismiche tendono a crescere regolarmente con la profondità, denotando un miglioramento progressivo delle caratteristiche dei terreni interessati.

8.3 Calcolo del parametro V_{s30}

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro V_{s30} che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio SH (in m/s) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il calcolo del cosiddetto parametro V_{s30} è stato fatto sia tramite la tomografia sismica con onde SH eseguita lungo la linea 2, sia in base alla stima del profilo verticale di V_s tramite dispersione delle onde superficiali eseguito su tutte le linee, ed è risultato 806 m/s – 813 m/s, considerando come riferimento il piano campagna.

Considerando che per la realizzazione dei fabbricati dovrà essere effettuato uno scavo lungo il versante dai 6 ai 9 m circa di profondità. In base al profilo sismostratigrafico ottenuto, essendo il substrato a circa 4 m di profondità, il piano fondale degli edifici in progetto risulterà attestarsi direttamente sul substrato integro, per cui il sito, secondo il DM 14 gennaio 2008 - Tabella 3.2.II, risulterà compatibile con la **categoria di sottosuolo A** che caratterizza gli *“Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m”*.

9. MODELLO GEOLOGICO

Attraverso l'analisi delle indagini è stato possibile definire l'assetto litostratigrafico dei terreni.

L'area risulta caratterizzata da un primo livello, con spessore di circa 1 m – 1,5 m costituito da sabbie limose con breccie seguite da un livello di alterazione del substrato afferente alla Formazione del Macigno il cui tetto è stato individuato mediante indagine sismica ad una profondità media di circa 4 m.

I risultati delle prove penetrometriche, condotte fino a rifiuto rispettivamente a 1 m e 1,5 m, sono stati utilizzati per stimare i parametri geotecnici del primo e del secondo livello come di seguito indicato:

Livello A: sabbie limose con breccie

Per la determinazione dei parametri geotecnici è stato utilizzato il valore medio di N_{spt} pari a 7.

Peso di volume

Tale parametro è stato valutato confrontando dati di bibliografia attribuendo un peso di volume naturale di $\gamma = 1,80 \text{ t/m}^3$.

Angolo d'attrito efficace

Utilizzando il valore di N_{SPT} stimato, si è proceduto a calcolare il valore di angolo d'attrito utilizzando la seguente correlazione valida per sabbie fini o limose:

$$\phi = \sqrt{15 \cdot N_{\text{spt}}} + 15 \text{ (METODO ROAD BRIDGE SPECIFICATION)}$$

In base a tale correlazione si è ricavato un valore di angolo d'attrito pari a $\phi = 25^\circ$.

Coesione

Date le caratteristiche prevalentemente granulari del livello A si ritiene di poter attribuire un valore pari a zero sia alla coesione efficace, che alla coesione non drenata, al fine di garantire condizioni cautelative.

Modulo edometrico

Per determinare il modulo edometrico è stata utilizzato il metodo proposto da Menzies e Malcev che si basa sulla seguente relazione:

$$E_d \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 3,54 \cdot N_{\text{spt}} + 38 \text{ (Sabbia fine)}$$

Utilizzando questo metodo si ottiene un valore di $E_d = 63 \text{ Kg/cm}^2$.

Livello B: alterazione della Formazione del Macigno.

Questo livello è caratterizzato dalla presenza di rocce afferenti alla Formazione del Macigno fortemente fratturati con riempimento delle discontinuità costituito da terreni prevalentemente sciolti a granulometria sabbiosa.

I valori dei parametri geotecnici sono stati ricavati da dati di bibliografia coordinati con i risultati della prova penetrometrica, che ha fornito un valore medio di N_{spt} pari a 26.

Peso di volume

Tale parametro è stato valutato confrontando dati di bibliografia attribuendo un peso di volume naturale di $\gamma = 1,8 - 2,0 \text{ t/m}^3$.

Angolo d'attrito efficace

La bibliografia fornisce valori che oscillano tra 20° e 30° .

Invece utilizzando il valore di N_{SPT} stimato, si è proceduto a calcolare il valore di angolo d'attrito utilizzando il metodo di Sowers (1961) che è valido per le sabbie in genere. Tale metodo trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova inferiori a circa 4 m per terreni sopra falda e si basa sulla seguente correlazione:

$$\phi = 28 + 0,28 \cdot N_{\text{spt}}$$

In base a tale correlazione si è ricavato un valore di angolo d'attrito pari a $\phi = 35^\circ$.

Considerando che le prove penetrometriche hanno interessato tale livello per circa 30-40 cm e data la presenza di ciottoli e brecce che possono avere contribuito ad aumentare l'effettiva resistenza del terreno si ritiene, a favore di una maggiore sicurezza, assumere il valore dell'angolo di attrito pari a 28° .

Coesione

Varie indicazioni bibliografiche indicano per la coesione non drenata un valore di circa $0,5 \text{ kg/cm}^2$, mentre la coesione efficace un valore di $0,2 \text{ kg/cm}^2$.

Date le caratteristiche prevalentemente granulari del livello B si ritiene comunque di poter attribuire un valore pari a zero sia alla coesione efficace, che alla coesione non drenata, al fine di garantire condizioni cautelative.

Modulo edometrico

Per determinare il modulo edometrico è stata utilizzato il metodo proposto da Menzebach e Malcev che si basa sulla seguente relazione:

$$Ed (\text{kg/cm}^2) = 11,84 \cdot N_{spt} + 38$$

Utilizzando questo metodo di ottiene un valore di $Ed = 346 \text{ Kg/cm}^2$.

Livello C: rocce afferenti alla Formazione del Macigno

Per la definizione dei parametri geotecnici di questo livello si è fatto ricorso, in questa fase, a dati bibliografici.

Peso di volume naturale	$\gamma = 2,35 \text{ t/m}^3$
Resistenza al taglio drenata	$C' = 163 \text{ Kg/cm}^2$; $\phi' = 38^\circ$ (secondo Mohr-Coulomb)
Resistenza a compressione monoassiale	$\sigma_c = 101 \text{ MPa}$

10. AZIONE SISMICA

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$), deve essere definita mediante l'approccio "sito dipendente".

In riferimento al Decreto, di cui sopra, devono essere definite le caratteristiche per l'opera in progetto (tipo di costruzione, vita nominale, classe d'uso), che secondo quanto indicato dal progettista e dalla committenza risultano essere:

Tipo di costruzione Tabella 2.4.I NTC	Tipo 2	<i>Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale</i>
Vita nominale § 2.4.1 NTC	$V_N = 50$	<i>anni</i>
Classe d'uso § 2.4.2 NTC	Classe II	<i>Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali Coefficiente d'uso $C_u = 1,0$</i>
Periodo di riferimento § 2.4.3 NTC	$V_R = 50$	<i>Coefficiente d'uso $C_u = 1,0$ (Tabella 2.4.II NTC) $V_R = V_N * C_U = 50 * 1,0 = 50$</i>

Nell'allegato A del D.M. 2008, la stima dei parametri spettrali per la definizione dell'azione sismica di progetto

- a_g = accelerazione max al sito (espresso in g/10)
- F_0 = valore max del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale)
- T^*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in secondi)

viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame.

Si riportano di seguito i coefficienti sismici definiti per il sito in esame:

Amplificazione stratigrafica

L'amplificazione stratigrafica è direttamente correlata alla velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità (V_{S30}), calcolata come riportato nel paragrafo 7.3, che porta a classificare il sito in esame come appartenente alla categoria A dei suoli di fondazione.

In funzione della categoria di sottosuolo i **coefficienti** S_s (amplificazione stratigrafica) e C_c (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) vengono calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*_c , mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V (NTC).

Per il sito in oggetto tali parametri risultano essere:

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss :	1,000	1,000	1,000	1,000
Cc :	1,000	1,000	1,000	1,000

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'intervento.

Data la pendenza del pendio $> 15^\circ$ si attribuisce la categoria topografica T2, da cui risulta un coefficiente topografico $S_T = 1,2$.

In funzione dei coefficiente precedentemente definiti è possibile calcolare il valore di S , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione

$$S = S_s \times S_T$$

Tale parametro risulta necessario alla determinazione dell'accelerazione massima attesa al suolo e conseguentemente dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali (NTC, 3.2.3.2.1).

Per quanto sopra, il coefficiente S risulta pari a $S = 1,2$ per tutti gli stati SLO, SLD, SLV e SLC.

Definizione dell'accelerazione massima

Avendo determinato il valore di a_g (accelerazione max al sito) e il valore dei coefficienti S_s e S_T è possibile ottenere il valore dell'**accelerazione massima** mediante la seguente espressione:

$$a_{max} = S * a_g = S_s * S_T * a_g$$

che risulta per i quattro strati limite:

	SLO	SLD	SLV	SLC
a_{max} (m/sec²)	0,510	0,616	1,450	1,847

Tali parametri e coefficienti sismici sono stati determinati utilizzando il software "Geostru PS" della GeoStru S.R.L. per il calcolo dei parametri sismici secondo le NTC 2008 e la Circolare Ministeriale n. 617 del 2 Febbraio 2009.

Suscettività alla liquefazione dei terreni

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato tra due principali fattori: le condizioni del terreno (fattori di predisposizione) e la sismicità (fattore scatenante).

Il fenomeno della liquefazione dinamica assume una particolare pericolosità in presenza di materiali granulari poco addensati saturi. Il terremoto può infatti determinare una densificazione del materiale, per collasso della struttura aperta e, di conseguenza, generare elevati valori di pressione interstiziale che possono dar luogo a fenomeni di liquefazione. In tali situazioni si ha la totale perdita di resistenza al taglio del materiale che può quindi colare come un fluido anche su pendenze molto modeste.

Il meccanismo della liquefazione dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geomeccanici quali ad esempio:

- a) distribuzione granulometrica: sono suscettibili di liquefazione i terreni con diametro mediano dei grani D_{50} compreso fra 0,075 mm e 2mm e coefficiente di uniformità compreso fra 2 e 5 (sabbie e sabbie limose);
- b) indice di plasticità: il fenomeno è possibile in terreni caratterizzati da un indice di plasticità inferiore a 10%;
- c) densità relativa: sono suscettibili di liquefazione i terreni sciolti con densità relativa $D_r < 50\%$ o nei quali $N < 2z$, dove N è il numero di colpi della prova penetrometrica standard (SPT) e z la profondità in metri;
- d) saturazione: sono suscettibili di liquefazione i terreni in cui la falda è prossima al piano di campagna (profondità $< 7\text{m}$);
- e) profondità: in genere il fenomeno di liquefazione si può verificare entro i primi 20m di terreno o comunque per pressioni verticali di confinamento inferiori a 200kPa.

Le norme NTC08 indicano (par.7.11.3.4.2) che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesta una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Essendo un materiale litoide con assenza di falda nei primi 15 metri si ritiene che non sia necessaria la verifica della liquefazione.

11. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta, su incarico della società Gheri Costruzioni S.r.l. e dell'Arch. Giovanni Gargani, a supporto del piano attuativo area di trasformazione "AT30" posta in San Casciano in Val di Pesa, località La Romola Via dei Pini.

Il presente studio si propone di fornire un inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico dell'area e di analizzare le condizioni di fattibilità dell'intervento in progetto.

Così come previsto dalla scheda AT30-La Romola, ai fini di definire in via preliminare il modello geologico atteso sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 2 prove penetrometriche in modalità dinamica;
- indagine geofisica di superficie mediante sismica a rifrazione e tomografia sismica con onde P/SH e metodologia MASW.

Tali indagini hanno consentito di caratterizzare i terreni oggetto di studio individuando un primo livello, con spessore di circa 1 m – 1,5 m costituito da sabbie limose con breccie seguite da un livello di alterazione del substrato afferente alla Formazione del Macigno il cui tetto è stato individuato mediante indagine sismica ad una profondità media di circa 4 m.

In base a quanto rilevato non sono intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo di riferimento (assetto geomorfologico, idraulico, idrogeologico, sismico).

Per quanto riguarda le condizioni di pericolosità dell'area si riassumono nella seguente tabella le condizioni di pericolosità indicate dall'Autorità di Bacino e dagli strumenti urbanistici:

		Pericolosità
Autorità di Bacino Fiume Arno	Piano Gestione Rischio Alluvioni	Non presente
	Piano Assetto Idrogeologico	P.F.2 (media) – P.F.1 (moderata)
Strumenti urbanistici	Pericolosità idraulica	Non presente
	Pericolosità geomorfologica	G3 (elevata)– G2 (media)
	Pericolosità sismica	S.2 (media)

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici e sismici non sono dettate condizioni di fattibilità specifiche ad eccezione della realizzazione di indagini sismiche a rifrazione o riflessione per la definizione della categoria di sottosuolo e delle geometrie sepolte come previsto dal D.P.G.R. 36/R del 09.07.2009 per gli interventi in classe 3.

Tali indagini sono state eseguite e hanno consentito di individuare il modello geologico sopra descritto e di attribuire al sito la **categoria di sottosuolo A**.

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici la fattibilità dell'intervento, come specificato nella scheda di fattibilità AT30 allegata al Regolamento Urbanistico, in fase di progettazione esecutiva dovranno essere realizzati ulteriori approfondimenti di indagine.

Dovranno inoltre essere eseguite verifiche della stabilità del versante al fine di valutare la necessità di eventuali interventi di messa in sicurezza e calcoli di stabilità dei fronti di scavo.

Il progetto dovrà inoltre tenere conto di un'adeguata progettazione idraulica locale in modo da evitare i rischi di erosione.

Così come previsto nella scheda di fattibilità dovranno essere tenuti in considerazione le problematiche idrogeologiche predisponendo un'adeguata regimazione delle acque superficiali e subcorticali.

Particolare attenzione dovrà posta nella gestione delle terre e rocce da scavo sia da un punto di vista ambientale che di assetto idrogeologico evitando, nel rimodellamento del versante, fenomeni di erosione e di ristagno delle acque.

Dott. Geol. Carlo Begliomini

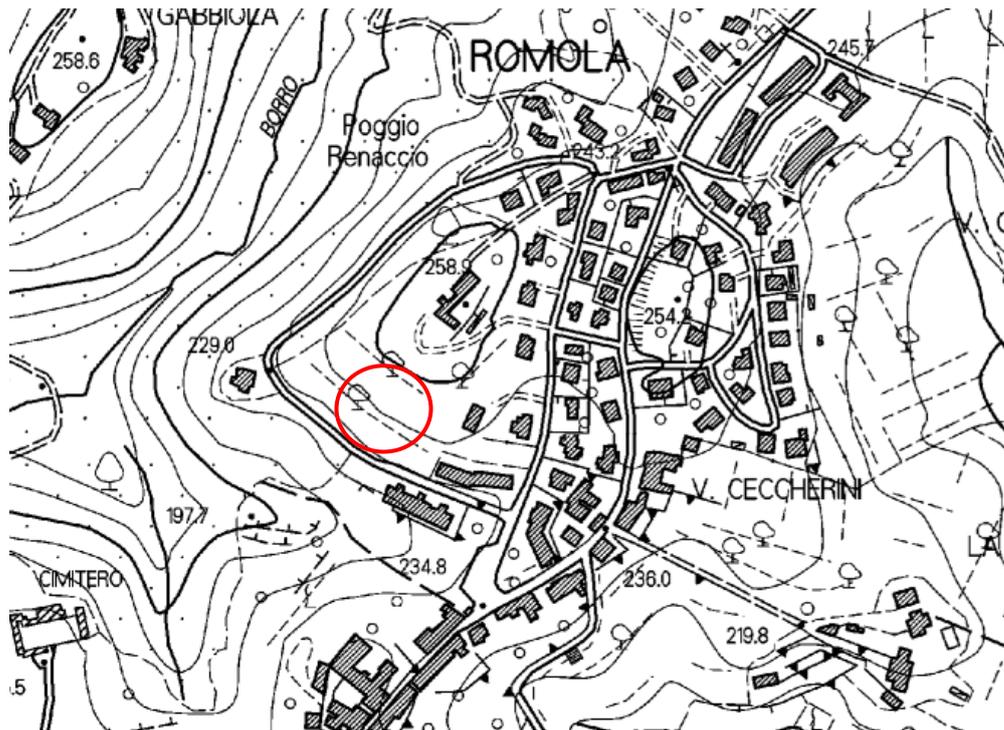
Ordine dei Geologi della Toscana n° 543



Bibliografia:

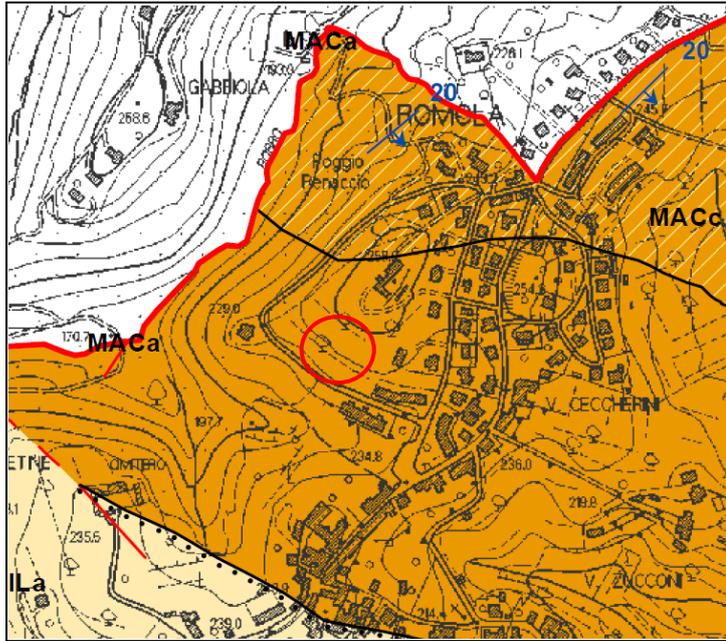
Aiello E. GeoEcoProgetti, 2013- "Supporto geologico tecnico alla variante al Piano Strutturale del Comune di Lastra a Signa".

FIGURA 1 - COROGRAFIA CARTA TECNICA REGIONALE



Area di studio

FIGURA 2 - CARTA GEOLOGICA (VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE)



DEPOSITI QUATERNARI

Depositi Olocenici

- b** Depositi alluvionali attuali
Ghiaie, sabbie e limi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con continue provece fluviali
- bma** Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali. (Senza indicazione della granulometria)

Depositi del Pleistocene Medio-Superiore

- bmb** Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali. (Ghiaie Provalenti)

DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILLAFRANCIANI

- VILh** Limi argilloso-sabbiosi ed argille sabbiose
- VILe** Sabbie e conglomerati
- VILc** Argille e argille sabbiose lignitifere lacustri e fluvio-lacustri
- VILb** Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi
- VILa** Conglomerati e ciottolami poligenici

DOMINIO LIGURE

Dominio Ligure Interno

Unità di M. Gottero

- APA** Argille a Palombini - Unità di Val Vara
Argille grigie e calcaree. Litolofie delle filadi nere: filadi grigio scuro - nerastro con intercalazioni marmoree calciosciste e quarziche. Arenarie quarzose litorboliche. Litolofie arenacee. Calcarei marmorei e marme. Litolofie calcareo-marmoree. Cretaceo inf.
- GBB** Gabbri con filoni basici
Giurassico sup.
- PRN** Peridotiti serpentinizzate con filoni gabbriici e basaltici (Serpentiniti)
Giurassico

Dominio Ligure Esterno

Unità di M. Morello, Unità di S. Fiora, Unità del Cassio e Unità dell'Antofa

- MLL** Formazione di M. Morello
Flysch carbonatici, calcari marnosi e marme. Paleocene sup. - Eocene medio
- SIL** Formazione di Sillano - S. Fiora
Argille grigio bruno e calcaree. Cretaceo sup. - Paleocene
- PTF** Pietraforte
Arenarie e silti quarzoso-feldspatiche e carbonatiche (Formazione di S. Fiora: membro del Fortulla). Cretaceo sup.
- AVR** Argille Varicolori
Argille varicolori con calcari (F. re di Villa a Radda, F. re di Villa La Selva, Argille a palombini, Argille di Graziana Morandi, Argille varicolori della Val Sillano). Cretaceo

DOMINIO TOSCANO

Falda Toscana

- MAC** *Macigno*
- MACc** Arenarie quarzoso-feldspatiche-micacee e gradate, in strati di potenza variabile, con livelli più sottili di silti (MACc). Marme e marme siltose, con intercalazioni di calcareniti (Marme di S. Polo, Marme di Pontefice) (MACc). Oligocene di materiale ligure e subligure (MACc)
- MACa** Oligocene sup. - Miocene inf.

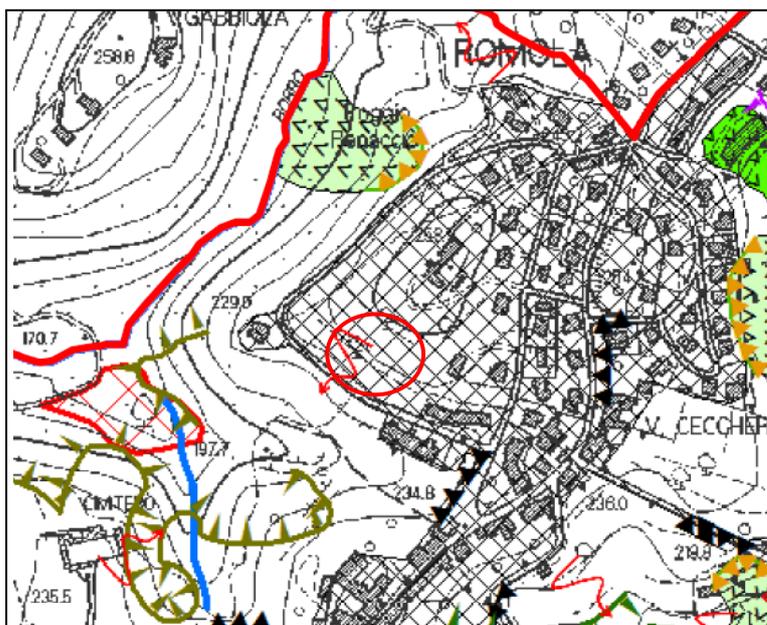
- Contatto stratigrafico
- Contatto stratigrafico inconforme
- Faglia
- Faglia diretta
- Sovraccorrimiento principale
- Faglia con prevalente componente trascorrente (destra)
- Faglia con prevalente componente trascorrente (sinistra)

- Stratificazione a polarità sconosciuta
- Stratificazione orizzontale diretta
- Stratificazione rovesciata
- Stratificazione diretta
- Stratificazione contorta con valori medi di immersione ed inclinazione



Area di studio

FIGURA 3 - CARTA GEOMORFOLOGICA (VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE)



Legenda

Forme fluviali e forme di versante dovute al dilavamento

-  **Area soggette ad erosione superficiale diffusa**
Attivo
-  **Scarpata d'erosione**
Attivo - Livello 1*
* Segni di attivazione o riattivazione dal 2008
-  **Scarpata d'erosione**
Attivo - Livello 2*
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1996
-  **Scarpata d'erosione**
Quiescente - Livello 1*
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1954 al 1996. Attualmente in stato quiescente
-  **Scarpata d'erosione**
Quiescente - Livello 2*
* Segni di attivazione o riattivazione prima del 1954. Attualmente in stato quiescente
-  **Conoide alluvionale**
-  **Scarpata d'erosione fluviale**
(Nel territorio comunale non sono presenti scarpate d'erosione fluviale con altezza superiore a circa 5 m)
-  **Erosione incanalata per rivioli**

Forme antropiche

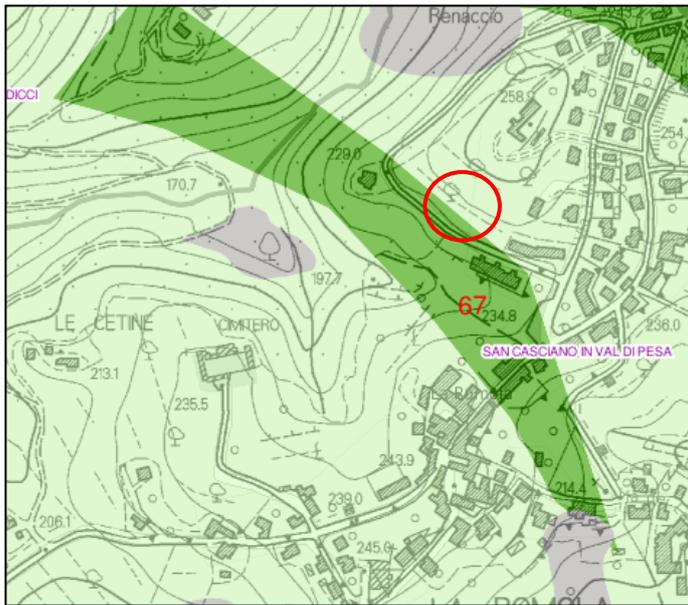
-  **Scarpata antropica**
Attivo - Livello 1*
* Segni di attivazione o riattivazione dal 2008
-  **Scarpata antropica**
Attivo - Livello 2*
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1996
-  **Deposito antropico e/o Area urbanizzata**
-  **Area estrattiva**
Attivo
-  **Frana consolidata per interventi di messa in sicurezza**
-  **Lago artificiale**

Forme di versante dovute alla gravità

-  **Corpo di frana**
Attivo - Livello 1
* Segni di attivazione o riattivazione dal 2008
-  **Corpo di frana**
Attivo - Livello 2
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1996
-  **Corpo di frana**
Quiescente - Livello 1
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1954 al 1996. Attualmente in stato quiescente
-  **Corpo di frana**
Quiescente - Livello 2
* Segni di attivazione o riattivazione prima del 1954. Attualmente in stato quiescente
-  **Area a franosità diffusa**
Attivo
-  **Corona di frana**
Attivo - Livello 1
* Segni di attivazione o riattivazione dal 2008
(Nel territorio comunale non sono presenti corone di frana attive di livello 2 con altezza superiore a circa 10 m)
-  **Corona di frana**
Attivo - Livello 2
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1996
(Nel territorio comunale non sono presenti corone di frana attive di livello 2 con altezza superiore a circa 5 m)
-  **Corona di frana**
Quiescente - Livello 1
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1954 al 1996. Attualmente in stato quiescente
-  **Corona di frana**
Quiescente - Livello 2
* Segni di attivazione o riattivazione prima del 1954. Attualmente in stato quiescente
-  **Soil Creep**
Attivo - Livello 1
* Segni di attivazione o riattivazione dal 2008
-  **Soil Creep**
Attivo - Livello 2
* Segni di attivazione o riattivazione dal 1996

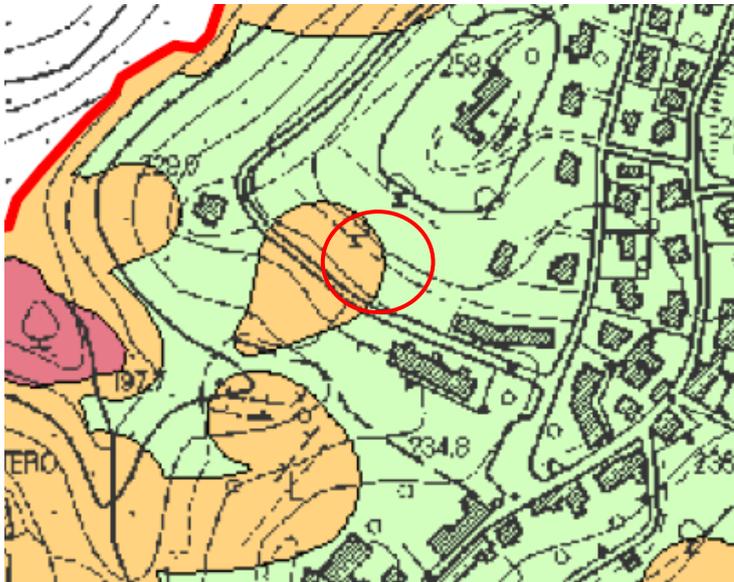
 **Area di studio**

FIGURA 4 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (PAI)



P.F.3
 P.F.2
 P.F.1
 Pericolosità individuata su scala 1:10.000

FIGURA 5 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE)



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

(Ai sensi del D.P.G.R. n. 53/R del 25 Ottobre 2011)

- G1** Pericolosità geologica bassa
- G2** Pericolosità geologica media
- G3** Pericolosità geologica elevata
- G4** Pericolosità geologica molto elevata

Area di studio

FIGURA 6 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA (VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE)

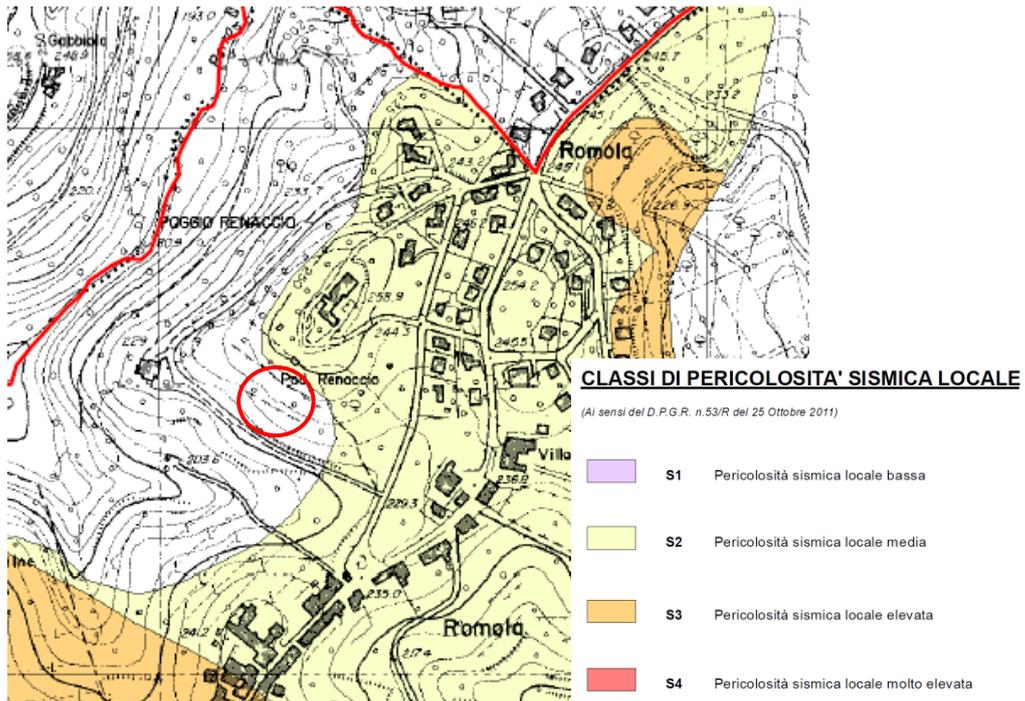
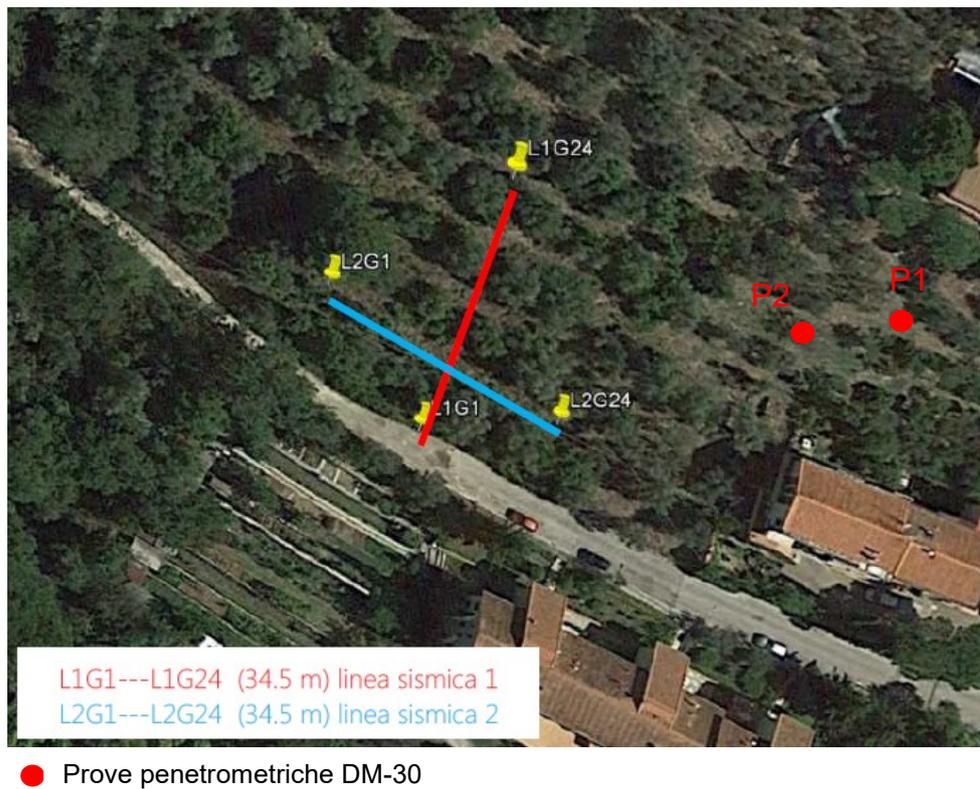


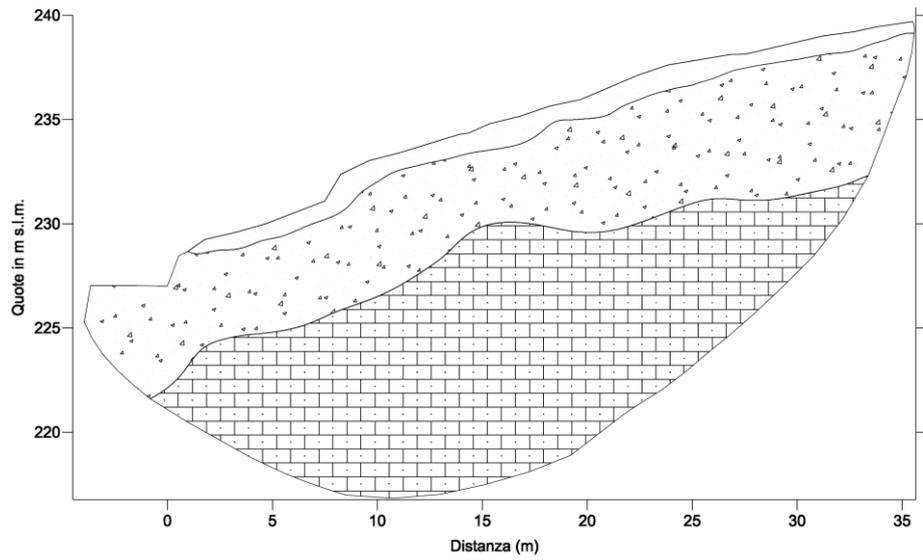
FIGURA 7 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI



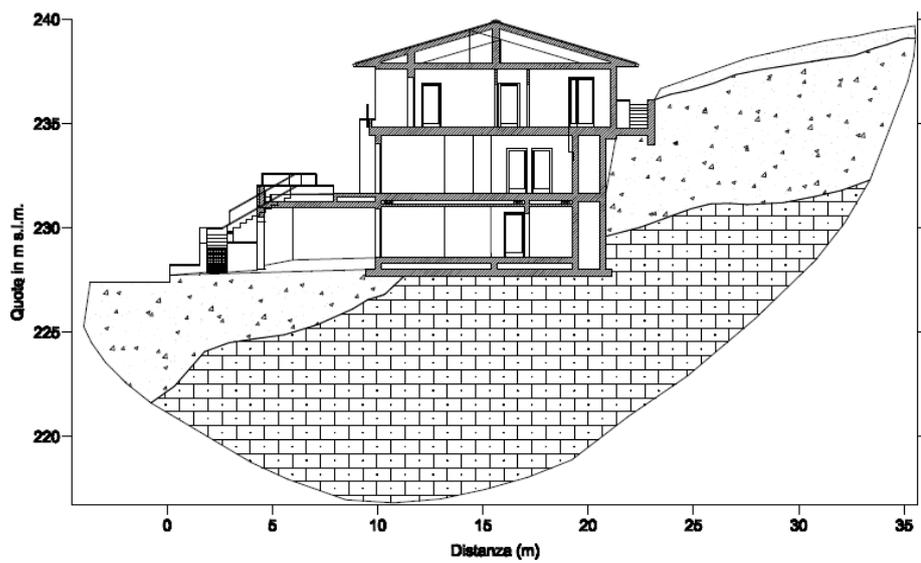
Area di studio

FIGURA 8 – SEZIONE GEOLOGICA (LINEA SISMICA 1)

STATO ATTUALE



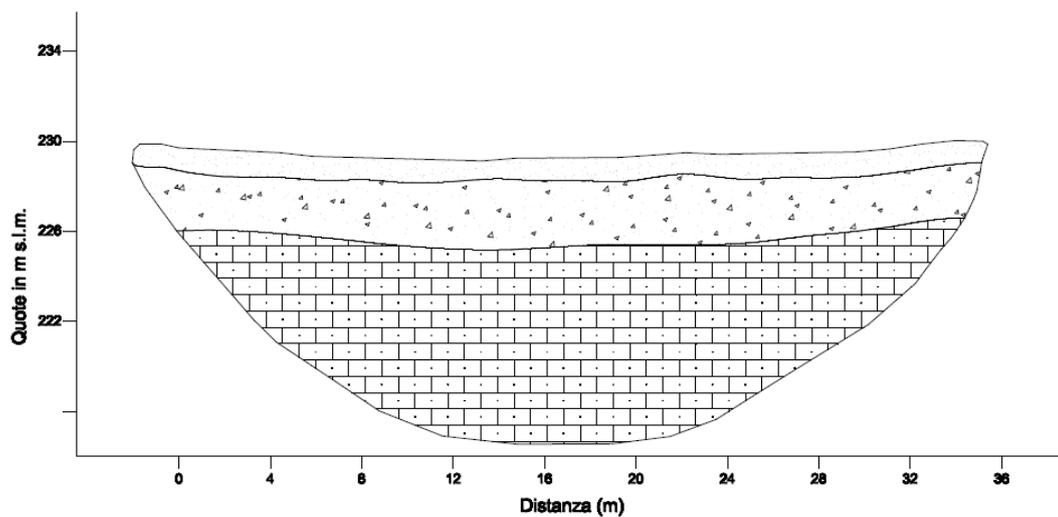
STATO DI PROGETTO



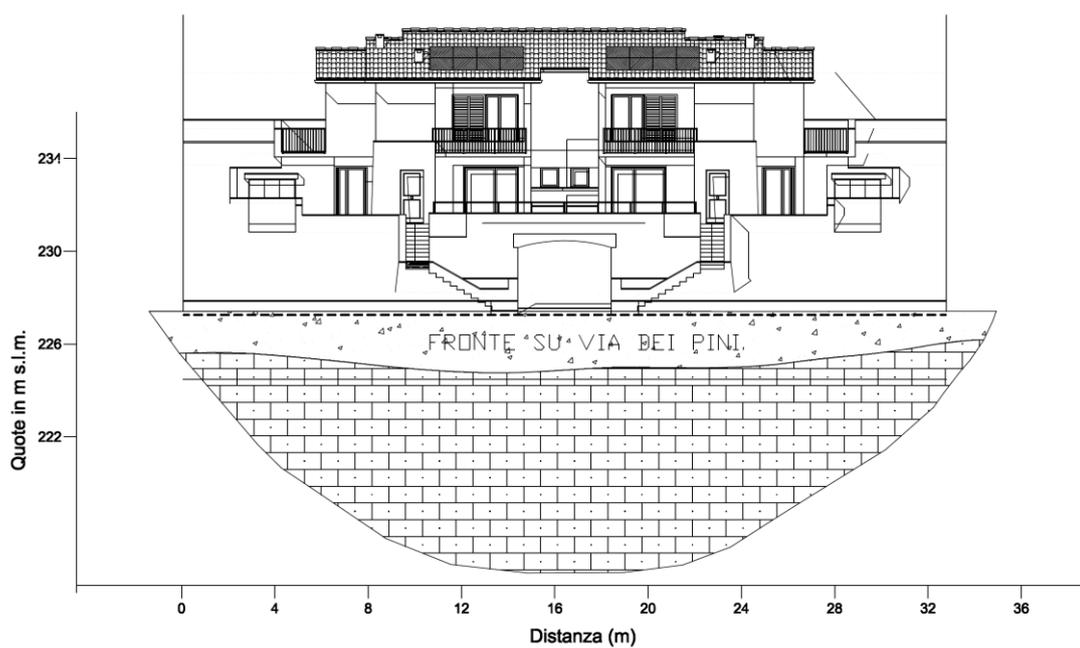
-  Sabbie limose con brecce
-  Alterazione del substrato
-  Formazione del Macigno

FIGURA 9 – SEZIONE GEOLOGICA (LINEA SISMICA 2)

STATO ATTUALE



STATO DI PROGETTO



-  Sabbie limose con brecce
-  Alterazione del substrato
-  Formazione del Macigno

PARAMETRI SISMICI

Sito in esame

latitudine: 43,699938
 longitudine: 11,161379
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Site 1	ID: 20279	Lat: 43,7113	Lon: 11,1384	Distanza: 2233,948
Site 2	ID: 20280	Lat: 43,7126	Lon: 11,2076	Distanza: 3974,738
Site 3	ID: 20502	Lat: 43,6627	Lon: 11,2095	Distanza: 5669,562
Site 4	ID: 20501	Lat: 43,6613	Lon: 11,1404	Distanza: 4615,569

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
 Categoria topografica: T2
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,043 g
 Fo: 2,582
 Tc*: 0,251 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50[anni]
 ag: 0,052 g
 Fo: 2,605
 Tc*: 0,261 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475[anni]
 ag: 0,123 g
 Fo: 2,393
 Tc*: 0,295 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 ag: 0,157 g
 Fo: 2,397
 Tc*: 0,297 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,010
 Kv: 0,005
 Amax: 0,510
 Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,013
 Kv: 0,006
 Amax: 0,616
 Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,040
 Kv: 0,020
 Amax: 1,450
 Beta: 0,270

SLC:

Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,051
 Kv: 0,025
 Amax: 1,847
 Beta: 0,270

determinati con GeoStru PS <http://www.geostru.com/geoapp>

PARAMETRI SISMICI

Sito in esame

latitudine: 43,699938
 longitudine: 11,161379
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Site 1	ID: 20279	Lat: 43,7113	Lon: 11,1384	Distanza: 2233,948
Site 2	ID: 20280	Lat: 43,7126	Lon: 11,2076	Distanza: 3974,738
Site 3	ID: 20502	Lat: 43,6627	Lon: 11,2095	Distanza: 5669,562
Site 4	ID: 20501	Lat: 43,6613	Lon: 11,1404	Distanza: 4615,569

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
 Categoria topografica: T2
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,043 g
 Fo: 2,582
 Tc*: 0,251 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50[anni]
 ag: 0,052 g
 Fo: 2,605
 Tc*: 0,261 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475[anni]
 ag: 0,123 g
 Fo: 2,393
 Tc*: 0,295 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 ag: 0,157 g
 Fo: 2,397
 Tc*: 0,297 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,010
 Kv: 0,005
 Amax: 0,510
 Beta: 0,200

SLD:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,013
 Kv: 0,006
 Amax: 0,616
 Beta: 0,200

SLV:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,040
 Kv: 0,020
 Amax: 1,450
 Beta: 0,270

SLC:
 Ss: 1,000
 Cc: 1,000
 St: 1,200
 Kh: 0,051
 Kv: 0,025
 Amax: 1,847
 Beta: 0,270

determinati con GeoStru PS <http://www.geostru.com/geoapp>

Geognostica Fiorentina srl

Via di Porto, 11-13 • 50018 • Scandicci (FI)
C.F./P.IVA • 05256260489
Tel. e Fax • 055 720195
E-mail • info@geognosticafiorentina.com
Web • www.geognosticafiorentina.com

Rapporto n°:	52-16		
Data:	04/04/2016		
Località:	Località Romola – Via dei Pini – San Casciano V.P. (FI)		
Coordinate Prova 1:	Latitudine: 43.698972°	Longitudine: 11.161037°	
Coordinate Prova 2:	Latitudine: 43.698954°	Longitudine: 11.160906°	

Ubicazione e documentazione fotografica



DL30_1



DL30_2

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DM-30 (60°)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DM-30 (60°)

PESO MASSA BATTENTE	M = 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 13,60 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 35,70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 10,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 2,40 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,10$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(10) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 6,00 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 0,766$ (teoricamente : Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
 - lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
 - località : Romola - San Casciano V.P. (FI)
 - note :

- data : 04/04/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,10	6	23,5	----	1	0,50 - 0,60	18	70,4	----	1
0,10 - 0,20	7	27,4	----	1	0,60 - 0,70	34	133,0	----	1
0,20 - 0,30	8	31,3	----	1	0,70 - 0,80	43	168,3	----	1
0,30 - 0,40	12	47,0	----	1	0,80 - 0,90	38	141,3	----	2
0,40 - 0,50	18	70,4	----	1	0,90 - 1,00	60	223,1	----	2

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00** kg - H (altezza caduta)= **0,20** m - A (area punta)= **10,00** cm² - D(diam. punta)= **35,70** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**10**) [δ = 10 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
 - lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
 - località : Romola - San Casciano V.P. (FI)
 - note :

- data : 04/04/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,10	5	19,6	----	1	0,80 - 0,90	9	33,5	----	2
0,10 - 0,20	6	23,5	----	1	0,90 - 1,00	9	33,5	----	2
0,20 - 0,30	5	19,6	----	1	1,00 - 1,10	10	37,2	----	2
0,30 - 0,40	7	27,4	----	1	1,10 - 1,20	13	48,3	----	2
0,40 - 0,50	7	27,4	----	1	1,20 - 1,30	28	104,1	----	2
0,50 - 0,60	6	23,5	----	1	1,30 - 1,40	32	119,0	----	2
0,60 - 0,70	4	15,7	----	1	1,40 - 1,50	60	223,1	----	2
0,70 - 0,80	4	15,7	----	1					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00** kg - H (altezza caduta)= **0,20** m - A (area punta)= **10,00** cm² - D(diam. punta)= **35,70** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**10**) [δ = 10 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

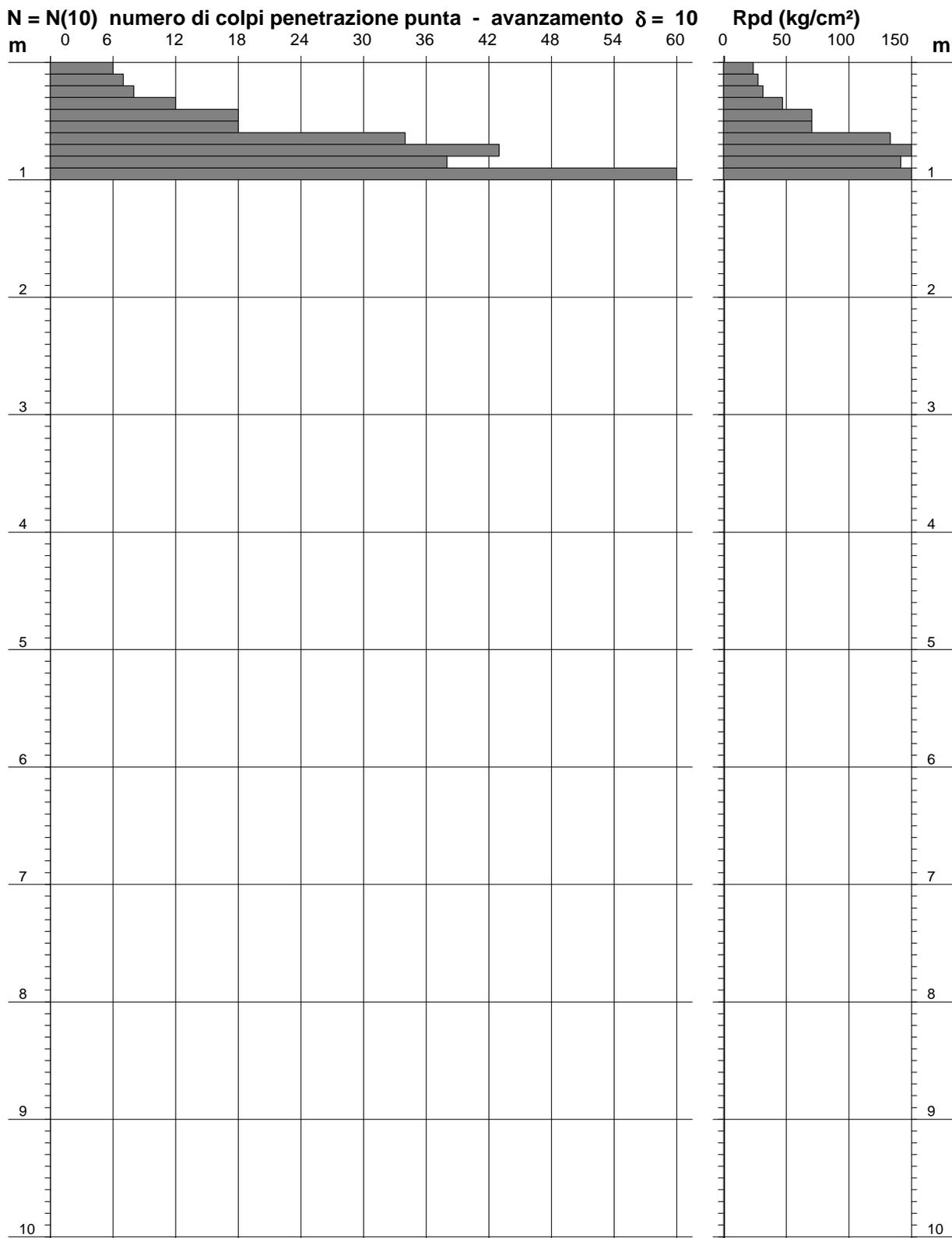
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

DIN 1

Scala 1: 50

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
 - lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
 - località : Romola - San Casciano V.P. (FI)
 - note :

- data : 04/04/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1



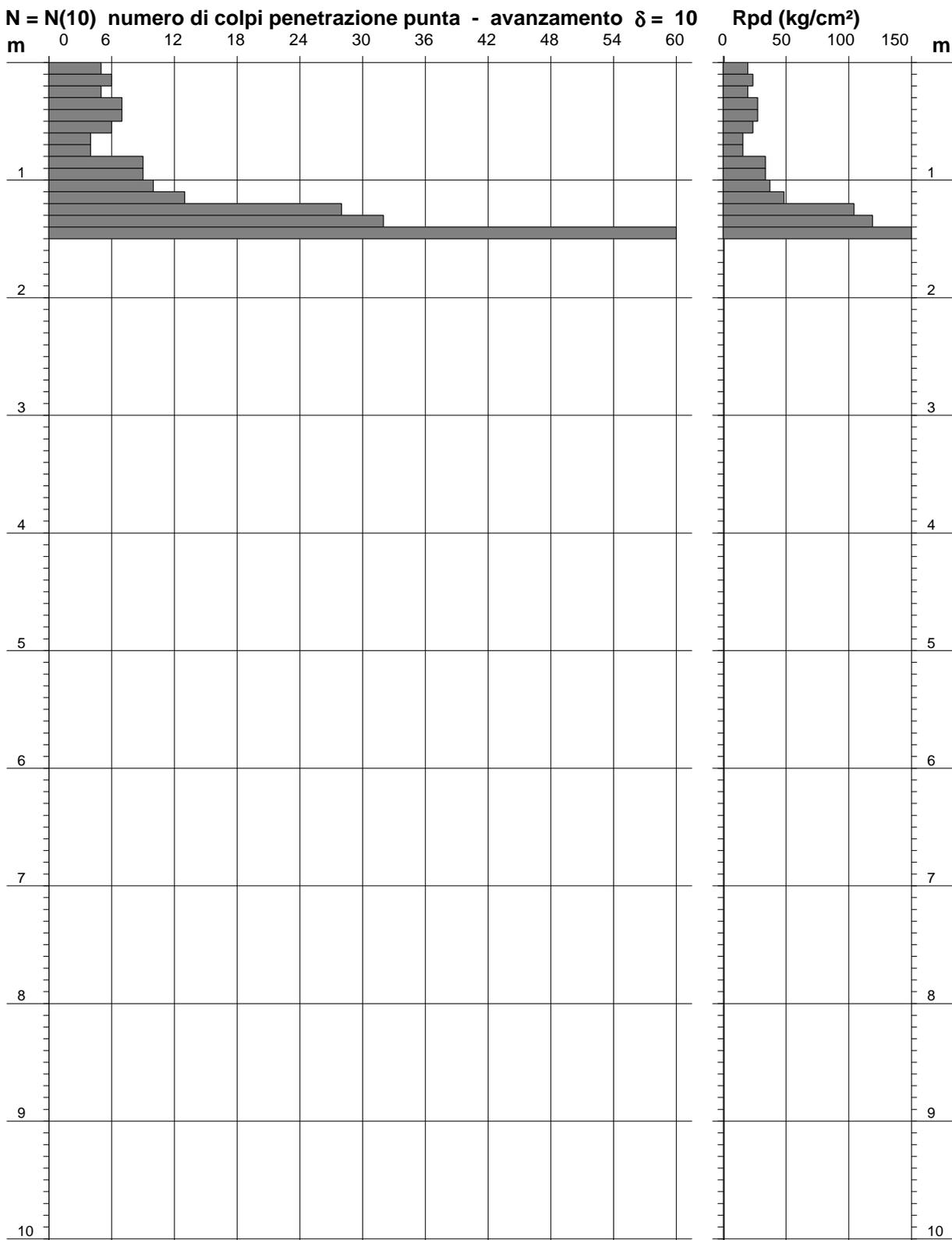
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

DIN 2

Scala 1: 50

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
 - lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
 - località : Romola - San Casciano V.P. (FI)
 - note :

- data : 04/04/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

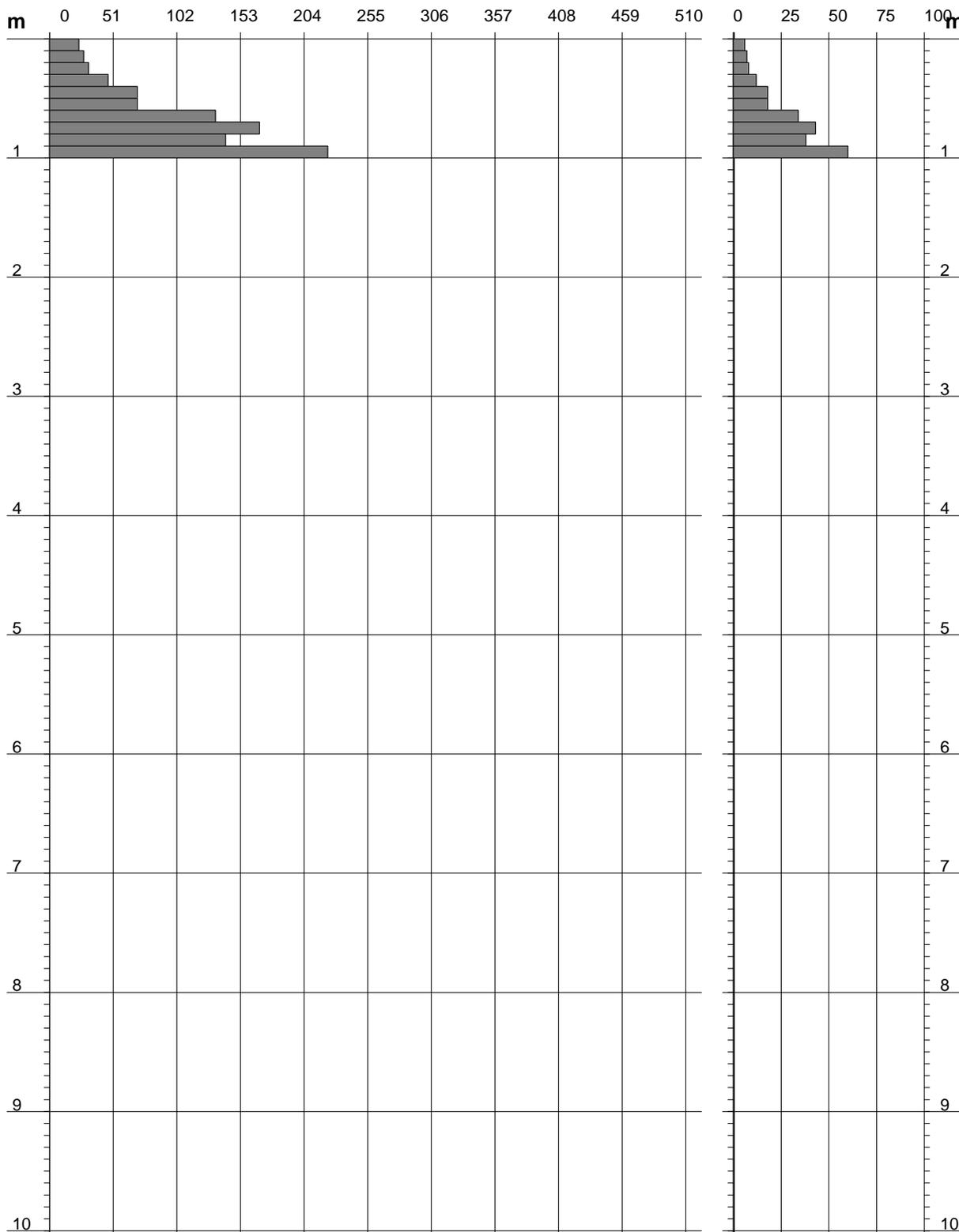
DIN 1
Scala 1: 50

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
- lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
- località : Romola - San Casciano V.P. (FI)

- data : 04/04/2016
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(10) n° colpi $\delta = 10$



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA**

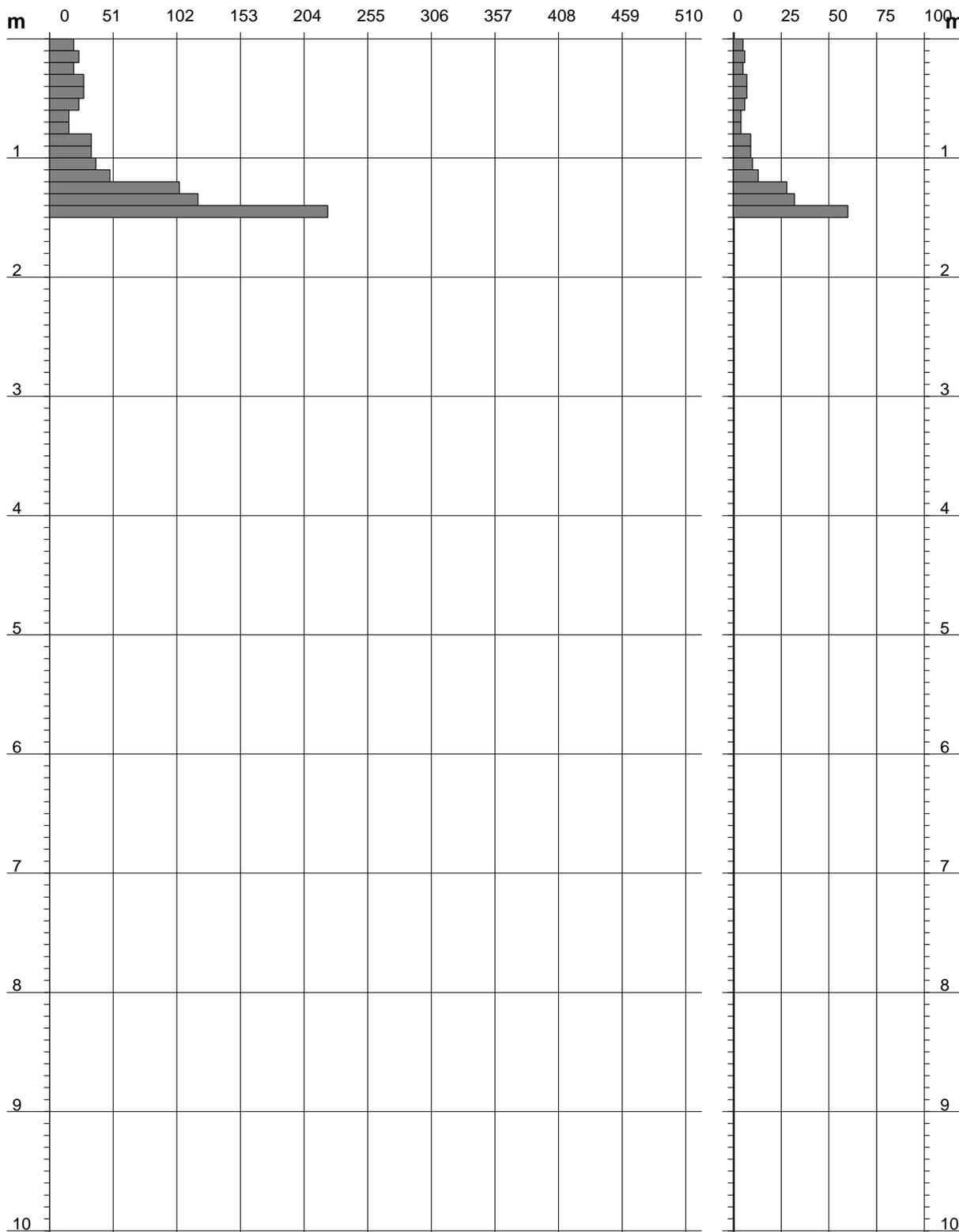
DIN 2
Scala 1: 50

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
- lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
- località : Romola - San Casciano V.P. (FI)

- data : 04/04/2016
- quota inizio : Piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(10) n° colpi $\delta = 10$



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
 - lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
 - località : Romola - San Casciano V.P. (FI)
 - note :

- data : 04/04/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,30	N	7,0	6	8	6,5	---	---	---	7	0,77	5
		Rpd	27,4	24	31	25,4	---	---	---			
2	0,30 0,60	N	16,0	12	18	14,0	---	---	---	16	0,77	12
		Rpd	62,6	47	70	54,8	---	---	---			
3	0,60 0,90	N	38,3	34	43	36,2	---	---	---	38	0,77	29
		Rpd	147,5	133	168	140,3	---	---	---			
4	0,90 1,00	N	60,0	60	60	60,0	---	---	---	60	0,77	46
		Rpd	223,1	223	223	223,1	---	---	---			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 10$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 0,77$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 10$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.30		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
2	0.30 0.60		12	38.0	30.6	284	1.94	1.52	0.75	1.92	31	0.842
3	0.60 0.90		29	63.5	35.7	415	2.05	1.68	1.81	2.13	19	0.506
4	0.90 1.00		46	81.0	40.0	546	2.13	1.82	2.88	2.33	10	0.274

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 2

- committente : GHERI COSTRUZIONI SRL
 - lavoro : Dott. Geol. Carlo Begliomini
 - località : Romola - San Casciano V.P. (FI)
 - note :

- data : 04/04/2016
 - quota inizio : Piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,60	N	6,0	5	7	5,5	----	5,1	6,9	6	0,77	5
			Rpd	23,5	20	27	21,5	3,5	20,0	27,0			
2	0,60	0,80	N	4,0	4	4	4,0	----	----	----	4	0,77	3
			Rpd	15,7	16	16	15,7	----	----	----			
3	0,80	1,20	N	10,3	9	13	9,6	----	----	----	10	0,77	8
			Rpd	38,1	34	48	35,8	----	----	----			
4	1,20	1,40	N	30,0	28	32	29,0	----	----	----	30	0,77	23
			Rpd	111,6	104	119	107,9	----	----	----			
5	1,40	1,50	N	60,0	60	60	60,0	----	----	----	60	0,77	46
			Rpd	223,1	223	223	223,1	----	----	----			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 10$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 0,77$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 10$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0,00	0,60		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
2	0,60	0,80		3	11.3	27.2	214	1.86	1.38	0.19	1.78	44	1.194
3	0,80	1,20		8	28.3	29.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
4	1,20	1,40		23	54.5	33.9	369	2.01	1.62	1.44	2.06	23	0.610
5	1,40	1,50		46	81.0	40.0	546	2.13	1.82	2.88	2.33	10	0.274

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno



**GEOGNOSTICA
FIORENTINA SRL**

Geognostica Fiorentina srl

Via di Porto, 11-13 • 50018 • Scandicci (FI)

C.F./P.IVA • 05256260489

Tel. e Fax • 055 720195

E-mail • info@geognosticafiorentina.com

Web • www.geognosticafiorentina.com

COMUNE DI SAN CASCIANO IN VAL DI PESA
Provincia di Firenze



Oggetto:

Indagine geofisica di superficie mediante
sismica a rifrazione e tomografia sismica
con onde P/SH e metodologia MASW

RELAZIONE TECNICA



Località:

Romola, via dei Pini
San Casciano in Val di Pesa (FI)



Committente:

Gheri Costruzioni S.r.l.

Introduzione

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine geofisica eseguita il 04/04/2016, in località Romola, via dei Pini, nel Comune di San Casciano in Val di Pesa (FI).

Dopo aver preso visione della zona, delle problematiche ad essa connesse e degli spazi a disposizione, è stata programmata una campagna di prospezioni geofisiche, consistente in due linee sismiche analizzate, la prima, mediante tomografia sismica con onde P, la seconda mediante tomografia sismica con onde Sh e metodologia MASW con lo scopo di caratterizzare dal punto di vista sismico le litologie presenti, evidenziando l'andamento dei vari sismostrati da discriminare nella porzione di sottosuolo indagata. I dati ottenuti sono stati elaborati con la metodologia tomografica che permette di ottenere un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura. E' stato inoltre possibile eseguire il calcolo delle velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette Vs30).

Di seguito vengono descritte: la metodologia d'indagine, lo schema operativo, le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, ed infine l'interpretazione dei dati elaborati.

Metodologie d'indagine

Sismica a rifrazione:

La sismica a rifrazione considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si rifrangono su superfici di discontinuità. La velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è quindi funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi. Non sempre però un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico in quanto la velocità di propagazione può variare nell'ambito di uno stesso litotipo perché, variazioni di compattazione, fratturazione, porosità ecc., cambiano le caratteristiche elastiche. Dalla misura dei tempi di percorrenza dalla sorgente ai ricevitori, è possibile dedurre la velocità e gli spessori degli orizzonti in cui si propagano le onde elastiche generate e quindi ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo.

La condizione fondamentale nella rifrazione è che la velocità delle onde sia crescente con la profondità. I raggi che incontrano la superficie di separazione tra i due mezzi verranno riflessi e rifratti. Nel punto in cui l'angolo di incidenza con la normale alla superficie di separazione è pari all'angolo critico, il raggio verrà rifratto a 90° secondo la legge di Snell e viaggerà lungo la superficie di separazione tra i due mezzi alla velocità del mezzo più veloce (quello a maggior profondità tra i due).

Per il principio di Huygens il fronte d'onda rifratto genera a sua volta onde che risalgono verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza e possono essere intercettati dai ricevitori.

Una volta acquisiti i dati, l'interpretazione dei segnali e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde, avviene attraverso una serie di fasi tra cui:

- mediante l'osservazione di sismogrammi, l'individuazione dei primi arrivi ed il relativo *picking*;
- ricostruzione delle dromocrone cioè di un diagramma che ha in ascisse le distanze dei geofoni e in ordinate i tempi dei primi arrivi; calcolo delle velocità delle onde sismiche mediante analisi tomografica.

Il metodo della *tomografia sismica* è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, migliorabile attraverso successive iterazioni fino alla migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Per l'analisi interpretativa sono stati utilizzati i software Easy Refract (Geostru) e Rayfract 3.2 per la tomografia sismica; Winmasw Academy 7.0 della EliaSoft per l'analisi MASW.

MASW

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, e quindi di calcolare i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette VS30), come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

In un mezzo stratificato le onde di superficie (Rayleigh e Love) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i

70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh e/o Love), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S.

L'acquisizione delle onde di Rayleigh è fatta mediante geofoni verticali ed energizzazione piastra-martello; per le onde di Love con geofoni orizzontali ed energizzazione martello-trave di legno, ortogonale allo stendimento.

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia avviene attraverso le seguenti fasi:

1. Calcolo dello spettro di velocità;
2. Individuazione del *modo fondamentale* e degli eventuali superiori;
3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia. In alternativa *picking* della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere ad un determinato *modo*;
4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

Schema operativo

Nella Tavola 1 allegata è riportato un inquadramento dell'area con inserite le tracce delle linee sismiche eseguite. Sono inoltre riportate le coordinate geografiche dei geofoni G1 e G24

Il rilievo planaltimetrico delle linee sismiche è stato acquisito mediante livello ottico automatico STANLEY AL32. Le quote relative di ciascun geofono e degli scoppi sono state successivamente riportate in m s.l.m. mediante C.T.R. della Regione Toscana.

Dopo una prima analisi dell'area, stabilite le finalità delle indagini da eseguire, ed in considerazione degli spazi a disposizione, sono state adottate per le prospezioni sismiche le seguenti configurazioni e sono state eseguite le seguenti analisi schematizzate di seguito:

LINEA SISMICA 1:

- 24 geofoni; distanza intergeofonica di 1.5 m per complessivi 33 ml di rilievo (G1-G24)

Tomografia sismica (Onde P):

- Sono stati eseguiti n°7 scoppi di cui 3 all'interno della linea e 4 esterni.
- Eseguita l'acquisizione dei dati, l'interpretazione è stata fatta mediante l'osservazione dei sismogrammi, l'individuazione dei primi arrivi ed il relativo *picking*, la ricostruzione delle dromocrone; calcolo delle velocità delle onde elastiche e la ricostruzione del modello del sottosuolo

LINEA SISMICA 2:

- 24 geofoni; distanza intergeofonica di 1.5 m per complessivi 33 ml di rilievo (G1-G24)

Tomografia sismica (Onde SH):

- Sono stati eseguiti n°7 scoppi di cui 3 all'interno della linea e 4 esterni.

Eseguita l'acquisizione dei dati, l'interpretazione è stata fatta mediante l'osservazione dei sismogrammi, l'individuazione dei primi arrivi ed il relativo *picking*, la ricostruzione delle dromocrone; calcolo delle velocità delle onde elastiche e la ricostruzione del modello del sottosuolo.

MASW:

- Sono stati eseguiti n°2 scoppi esterni alla linea
- Tempo di acquisizione: 1.5 s; frequenza di campionamento: 2.000 Hz; periodo di campionamento: 500 μ s.
- L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia avviene attraverso le seguenti fasi: 1. Calcolo dello spettro di velocità; 2. Individuazione del *modo fondamentale* e degli eventuali superiori; 3. Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia. 4. Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

Strumentazione impiegata

Un sistema digitale di acquisizione dati in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali. Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo costituito da un sistema a più canali a conversione digitale tra loro in catena, ciascuno con un proprio ID, e pilotati da PC. Il modello è denominato

DOREMI (della SARA Electronic Instruments), con risoluzione di acquisizione pari a 16 bit. Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati, geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

Come sorgente di energia sismica per le onde di corpo P si è fatto uso di una mazza con maglio da 8 kg battente su una piastra di alluminio posta sul suolo in linea con lo stendimento. Per le onde di corpo SH e per le onde di superficie (Love) il sistema di energizzazione utilizzato consiste in una mazza con maglio da 8 kg battente orizzontalmente su una trave in legno sovraccaricata, posta ortogonalmente allo stendimento e parallelamente alla direzione di oscillazione dei geofoni.

L'inizio della registrazione è stato dato tramite un *trigger* che consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra (nel nostro caso si è usato quello con geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

Presentazione elaborati grafici

Tavola 1: posizione delle indagini eseguite

Tavola 2: curve tempi-distanze (dromocrone) che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna. In ascisse sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento, in ordinate i tempi di arrivo espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Tavola 3-4: sezioni tomografiche realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. Al di sotto di questa sezione bidimensionale (quote/lunghezza dello stendimento) viene riportata una scala in falsi colori che esprime i valori di velocità all'interno della sezione in un range di velocità compreso tra 0-3000 m/sec per le onde P e 0-1.500 m/s per le SH.

Tavola 5-6: sezioni sismostratigrafiche interpretative, ottenute a partire dai risultati dell'analisi tomografica.

Tavola 7: sismogramma con lo spettro di velocità calcolato e risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi MASW.

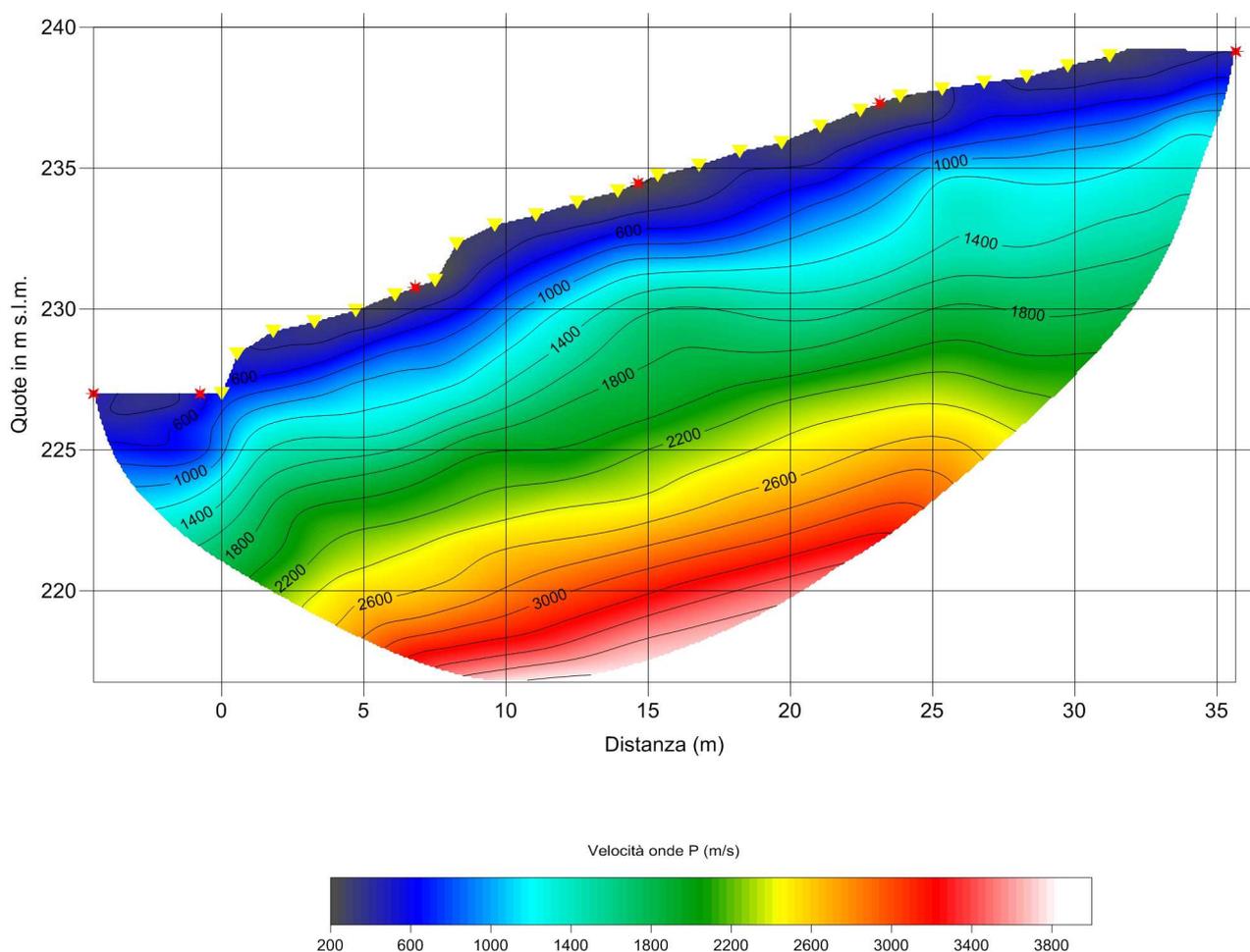
Tavola 8: Categorie di Suolo di Fondazione secondo il DM 14 gennaio 2008 - Tabella 3.2.II.

Analisi dei risultati

LINEA SISMICA 1

L'elaborazione con tecnica tomografica del profilo sismico ha permesso di ottenere una sezione sismica nella quale viene riportato l'andamento nel sottosuolo delle velocità delle onde P (vedi figura seguente).

Tale andamento viene graficamente rappresentato sia mediante una scala di falsi colori, ai quali competono via via velocità sismiche sempre maggiori, sia mediante curve di isovelocità distribuite regolarmente ogni 200 m/s.

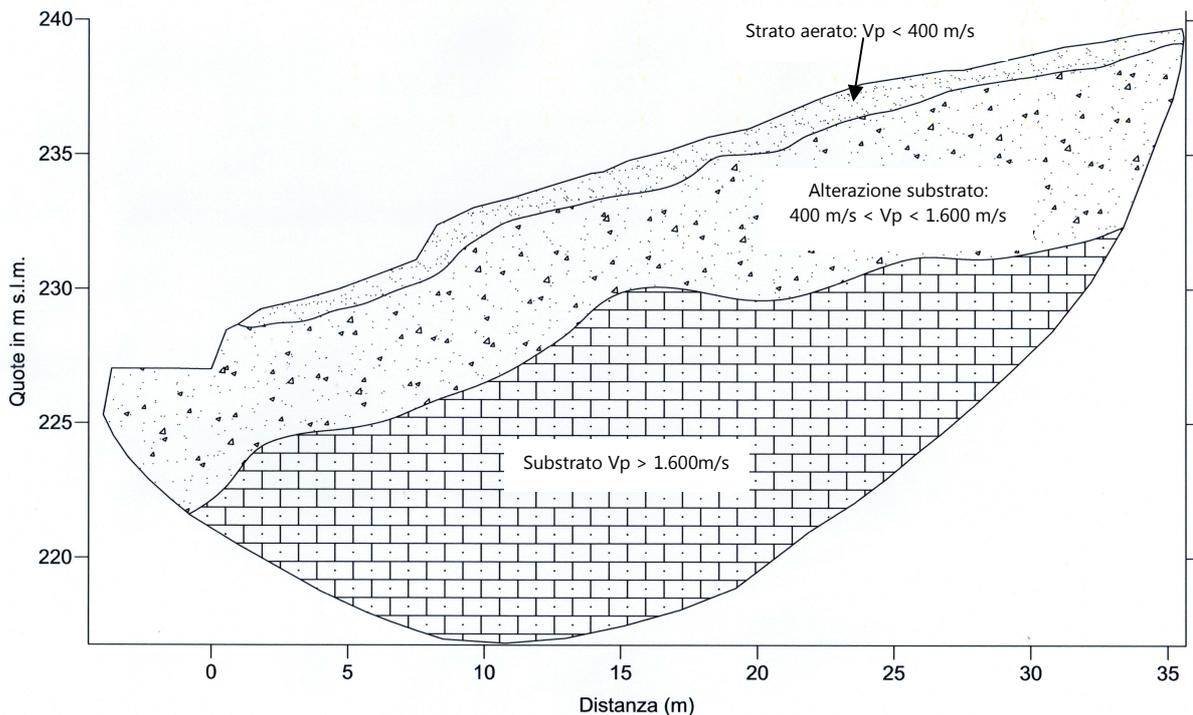


A partire dalla tomografia è stata realizzata una sezione interpretativa (figura sotto) che ha permesso di suddividere il sottosuolo indagato in tre sismostrati distinti:

- Primo sismostrato: strato aerato con spessore di circa un metro. Il limite di tale sismostrato è collocabile intorno alle curve di isovelocità dei 400 m/s.

- Secondo sismostrato: costituito dalla porzione parzialmente alterata della formazione litoide (Macigno), si presenta piuttosto regolare, si approfondisce leggermente nella seconda metà della linea (verso monte). Le profondità variano da circa 5 a 7 m. Le velocità sismiche che delimitano il presente sismostrato si ritiene possano essere collocate intorno a 1.600 m/s.
- Bedrock: i terreni caratterizzati da velocità sismiche superiori a circa 1.600 m/s sono stati attribuiti alla presenza del bedrock caratterizzato da una elevata compattezza. La sua presenza è emersa lungo tutto lo stendimento, con profondità del tetto di circa 5 m da p.c. nella zona interessata dall'intervento.

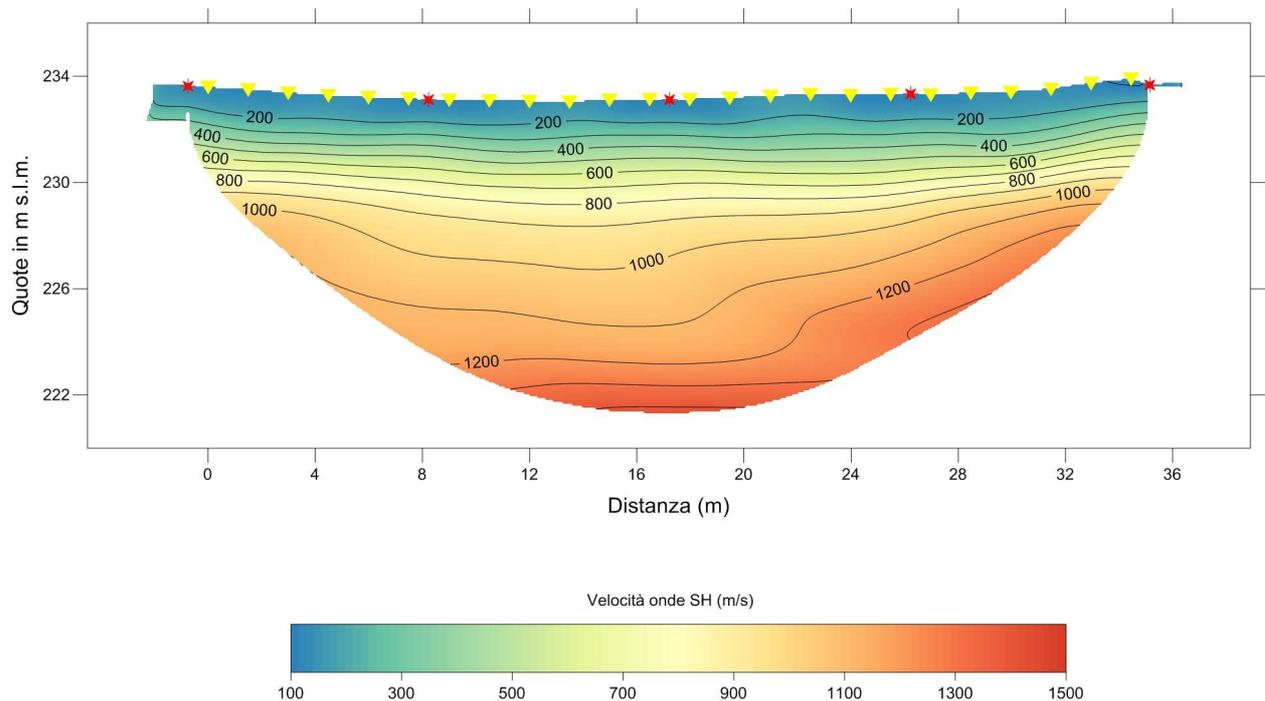
Nel complesso la tomografia ottenuta ha messo in evidenza un sottosuolo caratterizzato da terreni dotati di buone caratteristiche sismiche, infatti già a circa 1 m dal p.c. si rinvencono, seppur in forma alterata, le litologie della formazione del Macigno. Inoltre le velocità sismiche tendono a crescere regolarmente con la profondità, denotando un miglioramento progressivo delle caratteristiche dei terreni interessati.



LINEA SISMICA 2

L'elaborazione con tecnica tomografica del profilo sismico ha permesso di ottenere una sezione sismica nella quale viene riportato l'andamento nel sottosuolo delle velocità delle onde SH (vedi figura seguente).

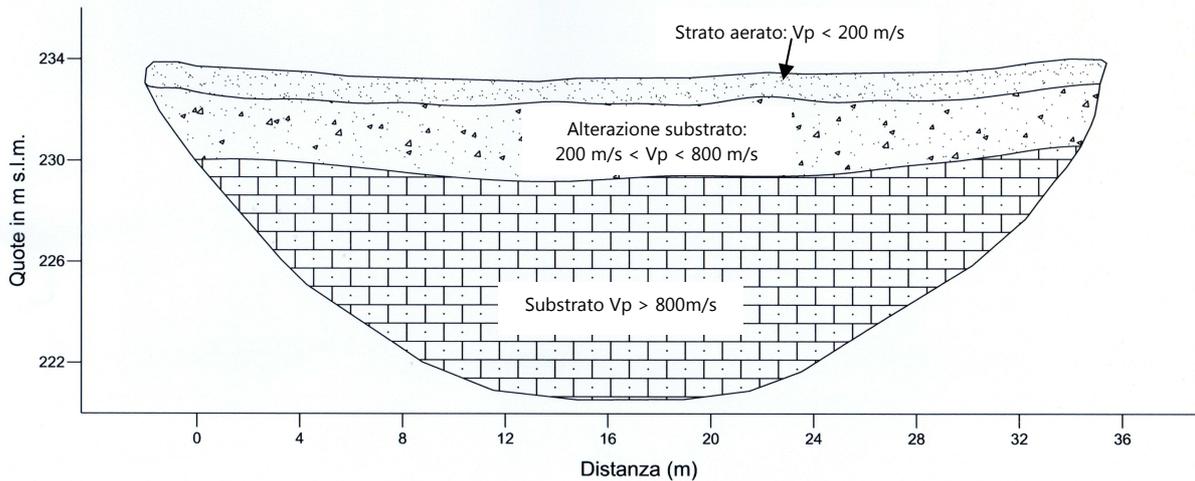
Tale andamento viene graficamente rappresentato sia mediante una scala di falsi colori, ai quali competono via via velocità sismiche sempre maggiori, sia mediante curve di isovelocità distribuite regolarmente ogni 100 m/s.



A partire dalla tomografia è stata realizzata anche in questo caso una sezione interpretativa (figura sotto) che ha permesso di suddividere il sottosuolo indagato nei tre sismostrati sopra descritti:

- Primo sismostrato: strato aerato con spessore di circa un metro. Il limite di tale sismostrato è collocabile intorno alle curve di isovelocità dei 200 m/s.
- Secondo sismostrato: costituito dalla porzione parzialmente alterata della formazione litoide (Macigno), si presenta regolare lungo tutto il profilo. Le profondità variano da circa 3 a 5 m. Le velocità sismiche che delimitano il presente sismostrato si ritiene possano essere collocate intorno a 800 m/s.
- Bedrock: i terreni caratterizzati da velocità sismiche superiori a circa 800 m/s sono stati attribuiti alla presenza del bedrock caratterizzato da una elevata compattezza. La sua presenza è emersa

lungo tutto lo stendimento con profondità del tetto mediamente di circa 4 m da p.c.. Anche in questo caso la tomografia ha messo in evidenza un sottosuolo caratterizzato da terreni dotati di buone caratteristiche sismiche, con le velocità che tendono a crescere regolarmente con la profondità, denotando un miglioramento progressivo delle caratteristiche dei terreni interessati.



La linea sismica come detto è stata analizzata anche mediante analisi **MASW** (Multi-channel Analysis of Surface Waves), analisi della dispersione delle onde di Love.

Nella Tabella e nella Figura sottostante vengono riportati: l'andamento del profilo di velocità; gli spessori e le relative velocità Vs stimati.

Spessore (m)	Vsh (m/s)
1.0	242
1.2	380
1.6	680
1.2	820
1.0	900
semi-spazio	973
Modello sismostratigrafico stimato	



I risultati ottenuti con quest'ultima metodologia d'indagine concordano sostanzialmente con i precedenti ottenuti con la tomografia con onde SH. Il modello sismostratigrafico indica la presenza di terreni con velocità delle onde sismiche riferibili all'alterazione del substrato che mediamente (la parte

più compatta) si trova a circa 4.0 m da p.c.. Le velocità sismiche tendono a crescere regolarmente con la profondità, denotando un miglioramento progressivo delle caratteristiche dei terreni interessati.

Categoria di sottosuolo

Le metodologie menzionate hanno consentito inoltre la caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette Vs30), così come previsto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni. La classificazione dei terreni è ottenuta sulla base del valore della Vs30 (il valore medio della Vs nei primi 30 m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

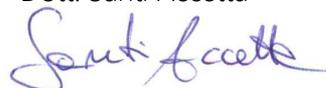
Il calcolo del cosiddetto parametro **Vs30** è stato fatto sia tramite la tomografia sismica con onde SH eseguita lungo la linea 2, sia in base alla stima del profilo verticale di Vs tramite dispersione delle onde superficiali eseguito su tutte le linee, ed è risultato **806 m/s – 813 m/s**, considerando come riferimento il piano campagna. Come comunicatoci dai tecnici incaricati, dovrà essere effettuato uno scavo lungo il versante dai 6 ai 9 m circa di profondità. In base al profilo sismostratigrafico ottenuto, essendo il substrato a circa 4 m di profondità, il piano fondale degli edifici in progetto risulterà attestarsi direttamente sul substrato integro, per cui il sito, secondo il DM 14 gennaio 2008 - Tabella 3.2.II, riportata in Tavola 8, risulterà compatibile con la categoria di sottosuolo A.

Nel caso in cui dovessero cambiare le caratteristiche dell'opera da realizzare ed in particolare la profondità di imposta delle fondazioni, sarà cura del progettista in base al modello sismostratigrafico sopra riportato con il conseguente profilo verticale della Vs, ed a tutte le considerazioni del caso che riterrà opportune, attribuire il definitivo valore di Vs30 e conseguentemente la categoria di suolo.

Scandicci, lì 22/04/2016

I Tecnici

Dott. Santi Accetta



Dott. Silvio Brenna



ALLEGATI

Tavola 1: Ubicazione linee sismiche

Tavola 2: Dromocrone onde P (LINEA 1) e SH (LINEA 2)

Tavola 3: Tomografia sismica onde P (LINEA 1)

Tavola 4: Tomografia sismica onde SH (LINEA 2)

Tavola 5: Sezione sismostratigrafica (LINEA 1)

Tavola 6: Sezione sismostratigrafica (LINEA 2)

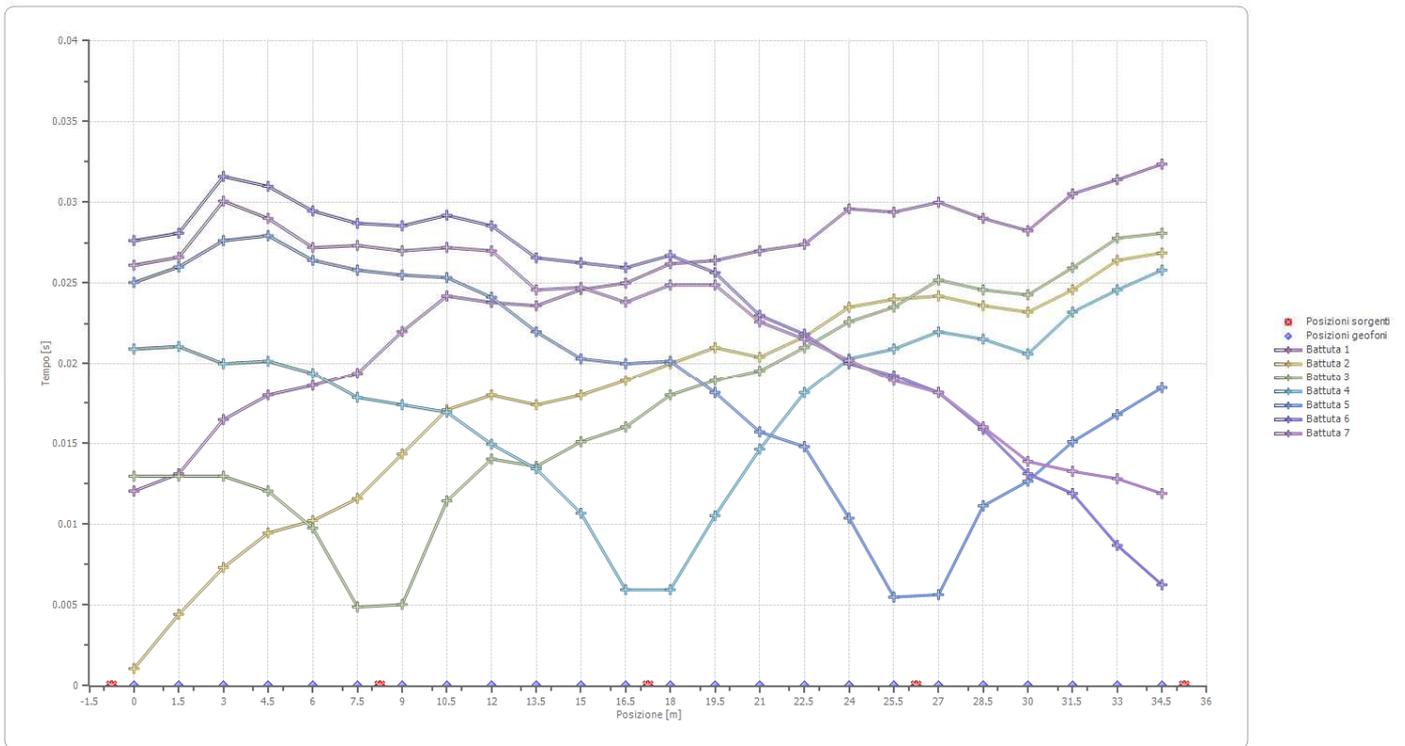
Tavola 7: Risultati analisi MASW

Tavola 8: Categorie di sottosuolo (D.M. 14/01/2008 - Tabella 3.2.II e 3.2.III)

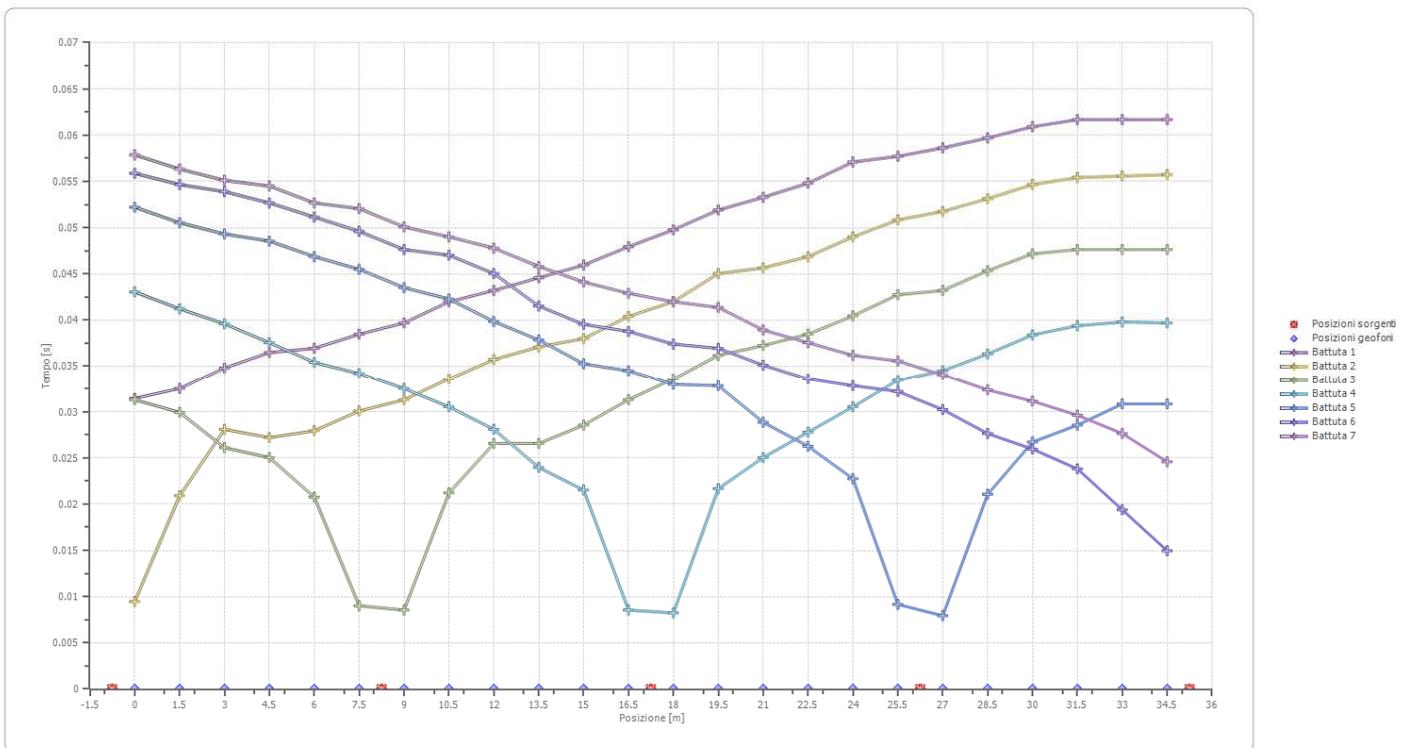


Coordinate linea sismica 1		
G1	43.698862°	11.160268°
G24	43.699138°	11.160436°
Coordinate linea sismica 2		
G1	43.699029°	11.160134°
G24	43.698869°	11.160498°

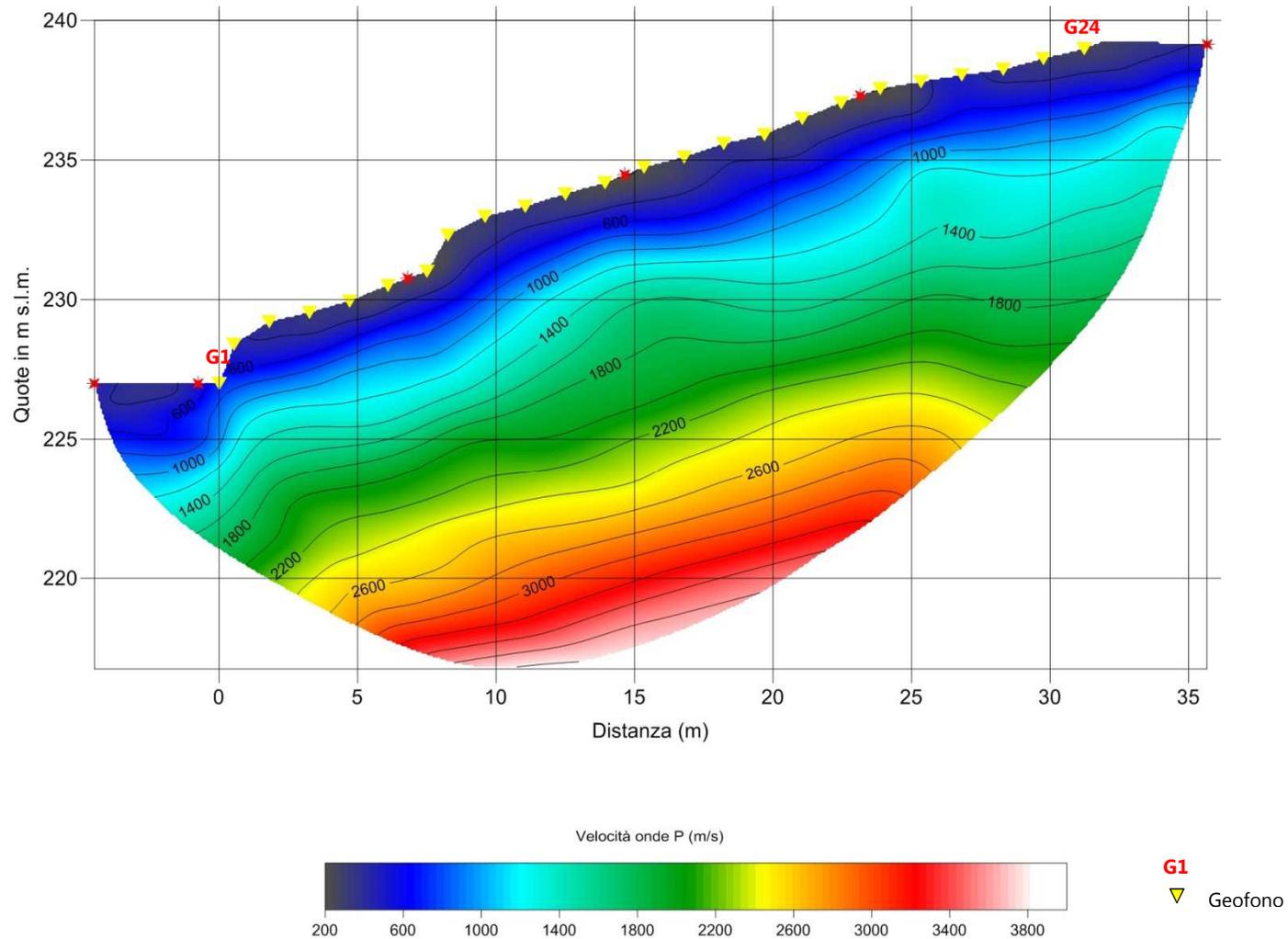
DROMOCRONE ONDE P (LINEA 1)



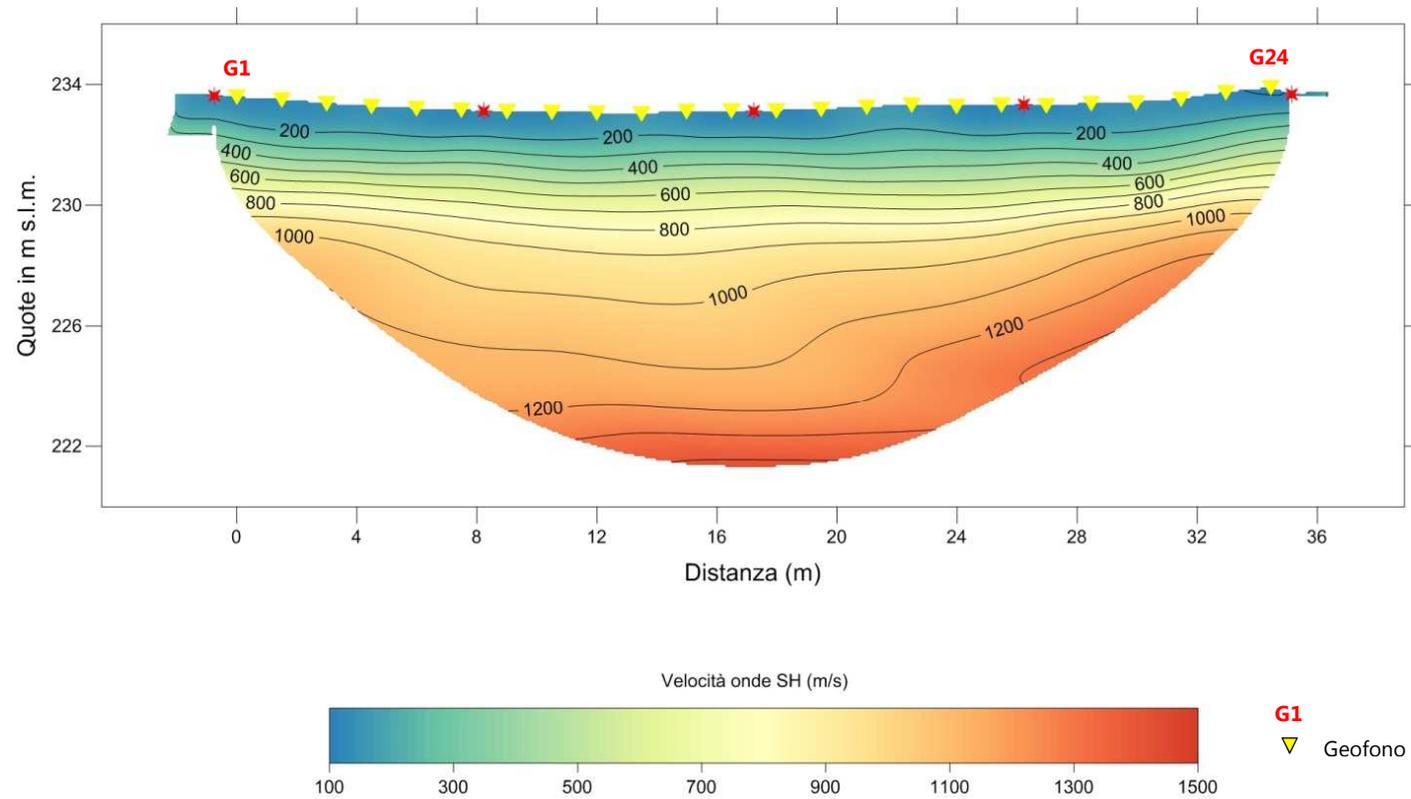
DROMOCRONE ONDE SH (LINEA 2)



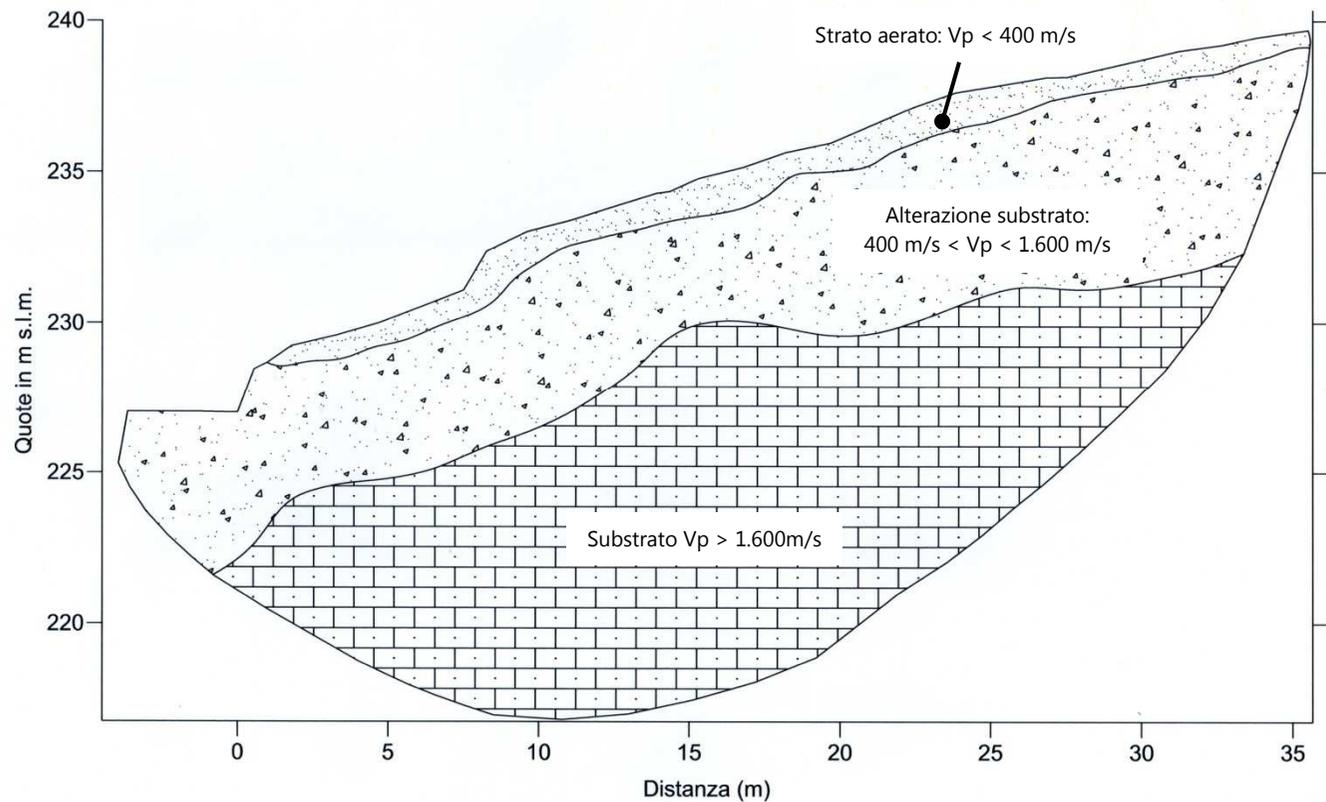
Tomografia sismica - LINEA 1 - Onde P
scala 1:250



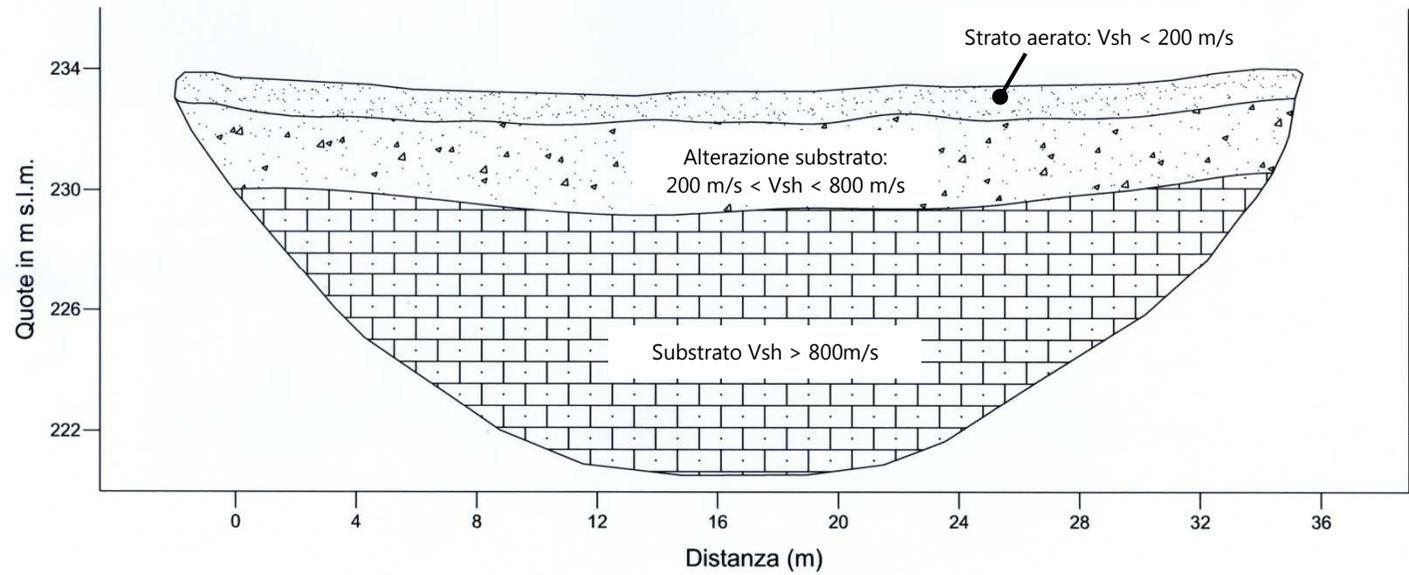
Tomografia sismica – LINEA 2 - Onde SH
scala 1:250

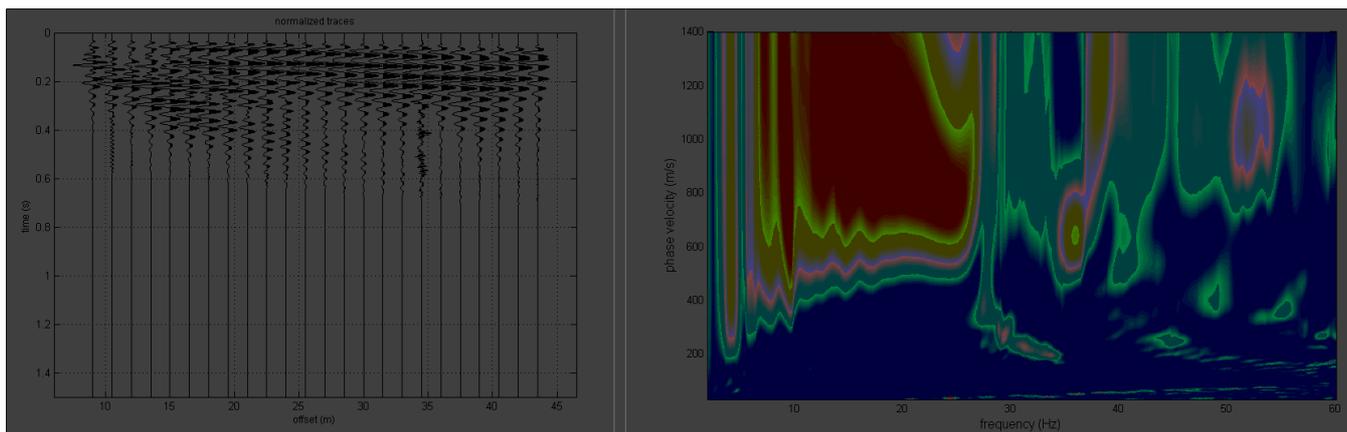


Sezione sismostratigrafica LINEA 1 - Onde P
scala 1:250

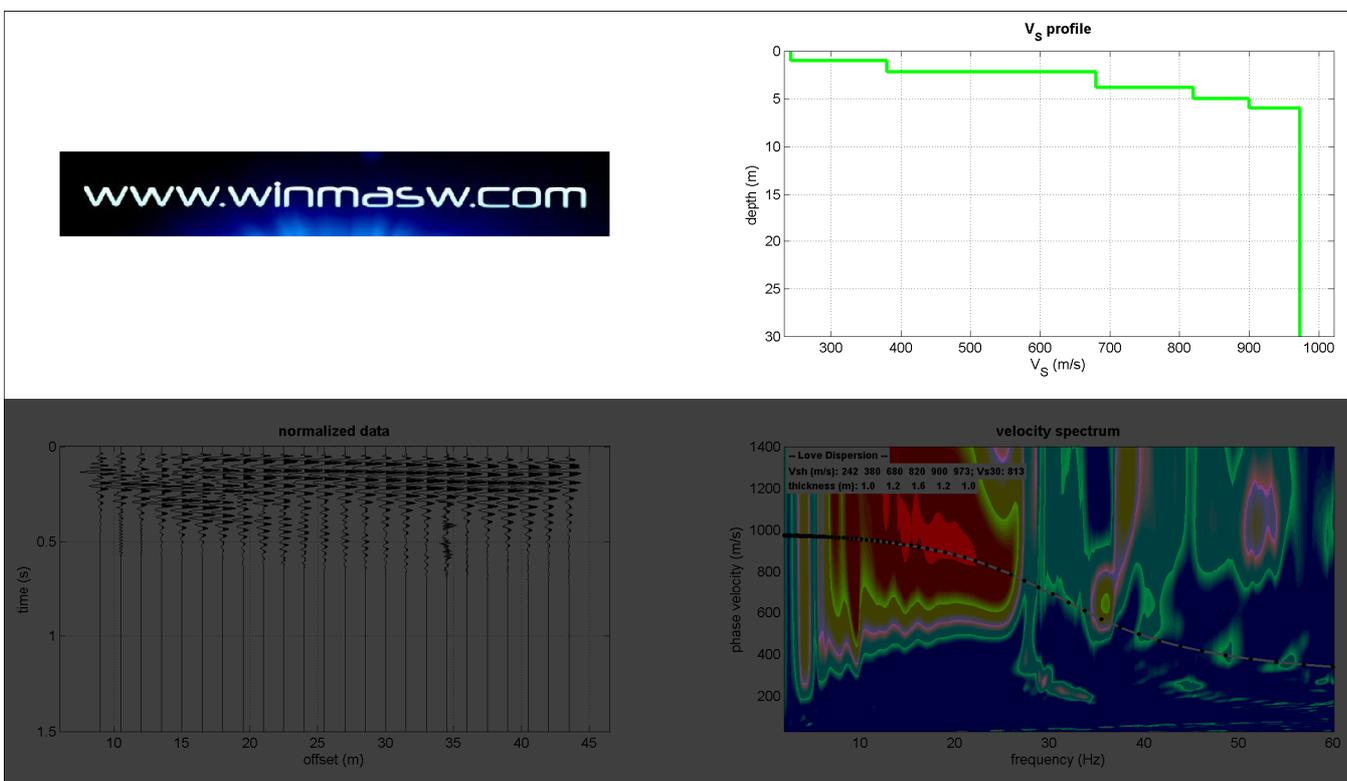


Sezione sismostratigrafica LINEA 2 - Onde SH
scala 1:250





Componente di Love - dati acquisiti (a sinistra), spettro di velocità calcolato (a destra).



Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW.

In basso: sismogramma e spettro di velocità osservato con sovrapposte le curve di dispersione (componente di Love).

In alto: profilo verticale Vs identificato dall'inversione.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT, 30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu, 30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT, 30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu, 30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT, 30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu, 30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu, 30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Categorie di sottosuolo (D.M. 14/01/2008 - Tabella 3.2.II e 3.2.III)