

**GEOSTUDIO Geologi Associati
di Merlini - Monelli - Mattioli**

42035 CASTELNOVO NE' MONTI (RE) Via Franceschini n.26
Tel. / Fax **0522 - 81 19 48**
e-mail: gstdmmm@libero.it

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Comune di Casina (RE)

Località : C. Servetta – Via Dante Alighieri



OGGETTO : Proposta di accordo operativo ai sensi dell'Art.38 della L.R. 24/2017 –
Ambito ATR17

Committente : Sig. VALLI Maurizio

ottobre 2021

Comune di Casina (RE)

Località : C. Servetta – Via Dante Alighieri

Committente : Sig. VALLI Maurizio

Oggetto : Proposta di accordo operativo ai sensi dell'Art.38 della L.R. 24/2017 –
Ambito ATR17

STUDIO GEOLOGICO E SISMICO

ottobre 2021

Per la GEOSTUDIO
Mattioli dr. Federico

INDICE

1. Riferimenti cartografici e bibliografici	pag. 1
2. Premessa	pag. 1
3. Geologia, geomorfologia ed idrogeologia dell'area	pag. 2
4. Indagine geognostica	pag. 4
4.1 Saggi esplorativi	pag. 5
4.2 Prove penetrometriche	pag. 6
4.3 Prospezioni sismiche con tecnica MASW e HVSR.....	pag. 7
5. Sismicità dell'area, microzonazione sismica e risposta sismica locale	pag. 8
6. Note conclusive	pag. 14

TAVOLE

Tavola 1a	Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e Piano Territoriale di Coordinamento (P.T.C.P.)
Tavola 1b	Carta geologica e geomorfologica
Tavola 2	Estratto planimetria catastale ed ubicazione prove geognostiche
Tavola 3	Stratigrafie dei saggi esplorativi
Tavole 4, ..., 7	Grafici penetrometrici, stratigrafie presunte e relativo allegato
Tavola 8	Rischio sismico del P.T.C.P. e microzonazione sismica comunale

ALLEGATI

- Indagine geofisica tramite tecnica MASW (sismica attiva)
- Indagine geofisica tramite tecnica HVSR (sismica passiva)

1. RIFERIMENTI CARTOGRAFICI E BIBLIOGRAFICI

- Planimetria Catastale - scala 1:2.000
Comune di Casina (RE)
Foglio n. 38 Mappale n. 431
- Carta Tecnica Regionale C.T.R. - scala 1:5.000
Elemento n. 218 062 Busanella
- Carta geologica d'Italia - scala 1:100.000
Foglio n. 86 Modena
- Carta geologica della Regione Emilia-Romagna - Servizio geologico, sismico e dei suoli - cartografia interattiva - scala 1:10.000 – Sezione n. 218 060 Leguigno
- Carta del dissesto del P.T.C.P. 2010 della Provincia di Reggio Emilia - parte integrante del Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po - scala 1:10.000 – Sezione n. 218 060 Leguigno
- Banca dati della Regione Emilia-Romagna – Servizio geologico, sismico e dei suoli
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) vigente di Reggio Emilia approvato con Delibera di Consiglio Prov.le n.124 del 17/06/2010 e successiva Variante Specifica approvata con Delibera di Consiglio Prov.le n.25 del 21/09/2018
- Micozonazione sismica, Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) e Regolamento Urbanistico Edilizio (R.U.E.) del Comune di Casina (RE) approvati con Deliberazione del Consiglio Comunale n.33 del 28 marzo 2011 e n.36 del 28 agosto 2013

2. PREMESSA

Su incarico del Sig. Valli Maurizio, è stata eseguita un'indagine geologica e sismica su di un'area situata in località C. Servetta – Via Dante Alighieri – nel Comune Casina (RE), la cui precisa ubicazione è visibile alle Tavole in allegato. Per tale area, inserita nel P.S.C. / R.U.E. del Comune di Casina (RE) come “ambito ATR17”, si prevede la proposta di accordo operativo ai sensi dell'Art.38 della L.R. 24/2017 al fine della sua futura edificazione. Essa ha una superficie di circa 1.900 mq con SU costruibile massima di circa 190 mq.

Scopo del presente studio è verificare l'idoneità geologica, geomorfologica ed idrogeologica del sito ad ospitare il carico urbanistico prospettato e definire le caratteristiche stratigrafiche, litomeccaniche e sismiche generali dei terreni costituenti il comparto in oggetto, ai sensi delle D.G.R. 476-564/2021 (che hanno aggiornato il D.G.R. 630/2019, la D.G.R. 2193/2015 e la D.A.L. 112/2007 “indirizzi per gli Studi di Microzonazione Sismica in Emilia Romagna per la Pianificazione Territoriale e Urbanistica”), del D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), nonché in ottemperanza a quanto previsto nel P.S.C. / R.U.E. del Comune di Casina (RE) e nel P.T.C.P. vigente della Provincia di Reggio nell'Emilia.

L'indagine è consistita nella raccolta di informazioni geologico-idrogeologiche di carattere generale sull'area (da indagini effettuate in zona dal sottoscritto o da altri tecnici, dagli elaborati del P.S.C. / R.U.E. del Comune di Casina, dal P.T.C.P. vigente della Provincia di Reggio Emilia e dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna – Servizio geologico, sismico e dei suoli), nel dettagliato rilievo delle condizioni geologiche e geomorfologiche della zona e nell'attenta osservazione dei lineamenti idrologici ed idrogeologici locali. Si è inoltre predisposta una campagna d'indagini consistente nell'esecuzione di tre saggi esplorativi, quattro prove penetrometriche, una prospezione sismica con tecnica MASW ed un'altra con tecnica HVSR nell'area in esame (ambito ATR17). I risultati dell'indagine testé descritta sono riportati nella presente relazione; essi sono interpretati e commentati nel testo della stessa.

Il comparto in oggetto non è perimetrato all'interno di zone a rischio idrogeologico nella Carta del Dissesto del P.T.C.P. vigente della Provincia di Reggio Emilia, parte integrante del Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (P.A.I.). A tal proposito si veda l'estratto della Carta del Dissesto riportato in Tavola 1a. Solo una piccola fascia nella parte Sud-orientale dell'ambito in esame ricade in una zona classificata come "depositi di versante in s.l. (a3)". Ciò non comporta particolari prescrizioni poiché sono assenti fenomeni morfogenetici superficiali in tale fascia e nell'intero comparto (vedi art. 59 delle N.A. del P.T.C.P. di Reggio Emilia).

3. GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Il comparto in oggetto è posta nella prima periferia occidentale dell'abitato di Casina, in località C. Servetta, tra le quote di circa 550 m e circa 570 m sul livello del mare; esso si trova lungo la parte medio-bassa di un versante esposto circa a Sud sulla cui sommità sorge Castello di Sarzano. Tale versante presenta pendenze medie dell'ordine dei 14°-15° (vedi Tavole 1a e 1b).

Il panorama geologico locale è caratterizzato principalmente dalla monotona presenza della Formazione di Bismantova, qui rappresentata da tre diverse facies: la *litozona arenacea* del *membro di Pantano* **ABI_{4a}**, la *litozona arenaceo-pelitica* del *membro di Pantano* **ABI_{4b}** ed il *membro delle Arenarie di Marola* **ABI₂**. Solo marginalmente all'area rilevata, nell'estremo settore occidentale, è presente un lembo del *membro delle "marne selciose"* **ANT₁** della Formazione di Antognola. Nell'ambito più vasto della tettonica regionale, tali formazioni fanno entrambe parte della "*successione epiligure*" costituita da sedimenti marini depositatisi nell'era terziaria su substrato in movimento, costituito dalle "*unità liguri*" in sovrascorrimento sulla "*serie toscana*", mediante il meccanismo delle correnti di torbida. La sequenza così realizzatasi costituisce il settore meno disturbato tettonicamente e meno esposto a fenomeni di degrado idrogeologico in s.l. del medio appennino reggiano. Due facies della formazione di Bismantova (**ABI_{4b}** e **ABI₂**) sono localmente separate in parte da un contatto di natura tettonica, cartografato in Tavola 1b, e sono caratterizzate da un'alternanza di strati arenitici e/o pelitici, in gran parte cementati. Il comparto in esame ricade completamente sui terreni appartenenti alla *litozona arenaceo-pelitica* del *membro di Pantano* **ABI_{4b}** (*Formazione di Pantano* **PAT** secondo la nuova carta

geologica della Regione Emilia-Romagna), costituita da areniti fini e/o siltiti marnose grigio chiare. In zona è presente soprattutto la litologia marnosa grigio chiara, compatta, con aspetto massiccio ed a stratificazione mal definita. Essa è direttamente osservabile nelle scarpate artificiali presenti lungo la strada comunale per C. Servetta. In Tavola 1b sono riportate le giaciture locali della formazione rocciosa (direzione e pendenza degli strati): esse indicano in zona condizioni quasi a reggipoggio rispetto al versante sotteso dal comparto in esame, quindi favorevoli alla stabilità. La Formazione di Bismantova costituisce l'ossatura dei rilievi presenti in zona ed è affiorante o presente a bassa profondità dal piano campagna nelle zone displuviali, mentre gli impluvi raccolgono i materiali fini provenienti dall'alterazione meteorica (detrito eluvio-colluviale e/o di versante s.l.). La Formazione di Bismantova, nell'area in esame, è ricoperta dalla sua coltre d'alterazione in posto che presenta spessori locali dell'ordine del metro o poco più (vedi indagine geognostica al Capitolo 3). Solo nella piccola fascia impluviale del settore Sud-orientale del comparto sono presenti *depositi di versante s.l. a₃*; essi sono formati generalmente da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici con tessitura frequentemente costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificata e/o cementata. La loro formazione, come quella delle altre coltri più estese di versante s.l. od eluvio-colluviali presenti in zona, risale per la maggior parte alle ultime ere glaciali, durante le quali le condizioni climatiche e la scarsa copertura vegetale ne favorivano la creazione. Nel comparto in esame, tale coltre detritica (che è posta lungo il fianco di monte di una piccola zona impluviale) ha spessori esigui, dell'ordine del paio di metri al massimo, come testimonia tra l'altro il saggio T2 effettuato al suo margine (vedi Tavola 2 e 3). Inoltre, occorre evidenziare che tutta la parte centrale e Nord-orientale del comparto è stato oggetto, alcuni decenni fa, di consistenti riporti prevalentemente grossolani (in alcuni punti dello spessore di oltre cinque metri) che comunque risultano ben assestati e non mostrano nessun segno d'instabilità. Infine, occorre segnalare che a distanza di sicurezza più che ragguardevole (un centinaio di metri più ad Ovest, confinata in una zona impluviale) è presente un corpo franoso in fase *attiva (a₁)*. La sua dinamica non influenza in alcun modo le ottime condizioni geomorfologiche del comparto in esame.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area indagata si presenta stabile e non si rilevano in essa fenomeni di degrado idrogeologico in atto o pregressi. Essa è posta lungo la parte medio-bassa di un versante esposto circa a Sud sulla cui sommità sorge Castello di Sarzano. Questo versante e le aree circostanti ai suoi piedi hanno un andamento regolare, senza contro-pendenze e/o mammellature e non mostrano alcun segno di degrado idrogeologico, ne' in atto che pregresso, se si esclude il citato corpo franoso posto un centinaio di metri più ad Ovest del comparto in esame (confinato in una zona impluviale), ininfluenza rispetto alle condizioni di stabilità del comparto stesso anche in un suo ipotetico sviluppo ed estensione. Tali fattori, congiuntamente alla presenza del substrato roccioso sub-affiorante (o nei primi metri del sottosuolo) in tutto il versante ed alla sua favorevole giacitura, sono estremamente rassicuranti ai fini della stabilità dell'area, per cui si è ritenuto superfluo eseguire una verifica delle condizioni di stabilità del versante mediante modello matematico (che restituirebbe risultati sicuramente favorevoli). Questi elementi permettono inoltre di escludere evoluzioni in senso negativo del favorevole quadro di stabilità. Anche i terreni di riporto prevalentemente grossolani che da decenni ricoprono tutta la parte centrale e Nord-

orientale del comparto risultano ben assestati e non mostrano nessun segno d'instabilità. La loro eventuale ricollocazione o sistemazione finale in funzione dell'edificazione del comparto dovrà comunque essere oggetto di specifico approfondimento in fase di progettazione esecutiva dei manufatti e delle opere previste.

Nella Carta del Dissesto del P.T.C.P. vigente della Provincia di Reggio Emilia (vedi Tavola 1a) – parte integrante del Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Po – il comparto in esame non è perimetrato all'interno di zone a rischio idrogeologico. Solo una piccola fascia nella sua parte Sud-orientale è classificata come "depositi di versante in s.l. (a3)", la cui norma di riferimento è l'art. 59 delle N.A. del P.T.C.P.. Ciò non comporta automaticamente particolari prescrizioni. Infatti, nel caso di coltri detritiche come quella qui rilevata, le prescrizioni contenute nell'art. 59 delle N.A. si applicano solo se sono presenti in sito fenomeni morfogenetici superficiali, quali creep, soliflusso, ecc. (vedi comma 1 lettera a dell'art. 59 delle N.A.). Nel caso in esame, non essendo presenti fenomeni di dissesto e degrado idrogeologico di sorta che interessano il comparto in esame, come illustrato nei paragrafi precedenti, le prescrizioni contenute nel citato art. 59 delle N.A. del P.T.C.P. non si applicano.

In conclusione, l'area di studio non è soggetta ad instabilità, né a rischio dovuto a masse incombenti instabili e gode di requisiti adeguati da un punto di vista geologico e geomorfologico ad un'edificazione scevra da particolari problemi tecnici. Allo stesso modo non sono ipotizzabili sviluppi dinamici di dissesto idrogeologico che possono coinvolgere in un prossimo futuro il comparto in esame. Il carico urbanistico previsto, di modesta entità, se realizzato nel rispetto delle prescrizioni impartite nella presente relazione (e di quelle che dovessero emergere nel successivo studio necessario per la fase esecutiva delle opere), non può determinare un peggioramento della situazione globale di stabilità del versante, né determinare situazioni che prefigurino un qualsiasi nocumento alle cose ed alle persone; esso si collocherà nel contesto geologico locale senza turbarne sostanzialmente gli equilibri e le dinamiche geomorfologiche attuali.

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Per raccogliere informazioni sulle caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo del comparto in esame, si sono utilizzati dapprima i risultati delle varie indagini geognostiche e geofisiche effettuate in zona dallo scrivente o da altri tecnici ed i dati della microzonazione sismica e del P.S.C. / R.U.E. del Comune di Casina, del P.T.C.P. vigente della Provincia di Reggio Emilia e della banca dati della Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (sondaggi, penetrometrie, stratigrafie pozzi, MASW e Re.Mi., ecc.). Ad integrazione dei dati così raccolti, tra i mesi di settembre ed ottobre 2021, si è predisposta una campagna d'indagini consistente nell'esecuzione di tre saggi esplorativi, quattro sondaggi penetrometrici, una prospezione sismica con tecnica MASW ed un'altra con tecnica HVSR nel comparto in oggetto. I saggi esplorativi sono stati effettuati con un escavatore meccanico messo a disposizione dalla committenza, mentre per le penetrometrie si è utilizzato un penetrometro medio-leggero tipo "Dynastar" ad assetto variabile statico-dinamico prodotto dalla Tecnotest di Modena (MO), le cui caratteristiche salienti sono riportate in

allegato ai grafici penetrometrici. La prospezione sismica MASW è stata eseguita con strumentazione ECHO 24/2002 Sismic Unit a 16 bit e 24 canali (geofoni da 4,5 Hz) prodotta della ditta Ambrogeo di Piacenza, mentre quella HVSR è stata eseguita con strumentazione SR04 GEOBOX 4,5 Hz prodotto da SARA electronic instruments S.r.l. di Perugia (PG). Tutte le strumentazioni utilizzate sono in dotazione alla Geostudio Geologi Associati.

L'indagine geognostica così effettuata ha permesso di valutare le caratteristiche stratigrafiche, litomeccaniche e sismiche dei terreni costituenti il sottosuolo del sito in esame ed appare più che adeguata ed approfondita in relazione al carico urbanistico previsto nel comparto e alle caratteristiche dei terreni incontrati (volume significativo).

L'ubicazione dei saggi esplorativi, delle prove penetrometriche e delle prospezioni sismiche (MASW e HVSR) sono indicate alla Tavola 2. La stratigrafia ottenuta dai saggi esplorativi sono riportate alla Tavola 3. I risultati penetrometrici sono riportati alle Tavole 4, ..., 7 e relativo allegato, mentre i risultati sismici (MASW e HVSR) sono riportati negli allegati 1 e 2 a fine relazione.

4.1 SAGGI ESPLORATIVI

I saggi esplorativi hanno avuto la finalità di ottenere una visione diretta della stratigrafia del primo sottosuolo e, mediante la raccolta di campioni, di definire una caratterizzazione geomeccanica e geotecnica di massima in sito. Non è stato possibile effettuare misure con il penetrometro tascabile (pocket penetrometer) in quanto si sono rilevati terreni non sufficientemente coesivi in superficie (facilmente sfaldabili seppur consistenti) e rocciosi in profondità. Sono stati effettuati tre saggi, due dei quali (T1 e T2) nella parte del comparto senza riporto (zona meridionale) e l'altro (T3) nel settore Nord-orientale con riporto.

La stratigrafia dei terreni desunta dai tre saggi esplorativi è riportata alla Tavola 3, cui si deve far riferimento per ogni dettaglio. In sintesi essa è comunque data dalla successione di diversi livelli, che, partendo dalla superficie (p.c.) ed andando in profondità, sono:

- Suolo e terreno agrario o riporto grossolano – presenti in superficie con spessori di circa 30-50 cm (suolo e terreno agrario) nei saggi T1 e T2 (zona senza riporto) oppure di alcuni metri (circa 3,2 m) nel saggio T3 (riporto prevalentemente grossolano costituito da blocchi marnosi, qualche mattone e terra);
- limo argilloso debolmente sabbioso – è stato rilevato al di sotto dei livelli precedenti fino alla profondità di circa 1,3-1,4 m dal p.c. nei saggi T1 e T2 senza riporto (nel saggio T3 è presente al di sotto del riporto superficiale fin oltre la profondità di 4,0 m dal p.c. raggiunta nel saggio); tale livello è costituito da limo argilloso debolmente sabbioso di colore bruno, asciutto e consistente, ma friabile (per cui non è stato possibile effettuare misurazioni della *resistenza alla compressione semplice* q_u , con il pocket penetrometer); è ascrivibile alla coltre di alterazione in posto del sottostante substrato roccioso;

- **marne** – sono state rilevate al di sotto dei livelli precedenti nei soli saggi T1 e T2, dalla profondità di circa 1,3-1,4 m dal p.c. (nel saggio T3, con oltre tre metri di riporto, non sono state raggiunte; esse con ogni probabilità sono presenti intorno alla profondità di 4,5 m dal p.c. in base a correlazioni stratigrafiche, considerazioni morfologiche ed ai risultati di tutte le prove effettuate nel comparto e nelle aree limitrofe); tale livello è costituito da marne grigio-chiare compatte ed è ascrivibile al substrato roccioso in posto (*litozona arenaceo-pelitica del membro di Pantano della Formazione di Bismantova ABI_{4b}*); dai dati bibliografici di geologia locale e considerazioni geomorfologiche, lo spessore della Formazione di Bismantova è in zona di molte decine di metri;
- lungo i saggi non si è riscontrata la presenza di falda idrica o venute d'acqua.

4.2 PROVE PENETROMETRICHE

Considerate le condizioni geologiche generali del sito (presenza di trovanti rocciosi nel primo sottosuolo), si è scelto di effettuare le penetrometrie in modalità dinamica.

Le *prove penetrometriche dinamiche (DP)* consistono nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di dato peso. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita (10 cm). Solitamente si utilizzano i risultati penetrometrici in termini di *resistenza dinamica unitaria alla penetrazione r_d* , utilizzando la relazione detta "degli olandesi". Essa è del tipo:

$$r_d = K \times N$$

dove N è il numero di colpi per 10 cm di infissione e K è una costante dipendente dalle caratteristiche dello strumento utilizzato e dalla profondità di prova. I valori di *resistenza dinamica r_d* (quelli ridotti per la perdita di energia da "svergolamento delle aste durante l'infissione") sono restituiti sotto forma di istogramma penetrometrico, in base alla profondità, alle Tavole 4, ..., 7; in tali tavole è anche riportato il diagramma del numero di colpi/profondità ed un'interpretazione stratigrafica dei terreni per ogni singola prova. Per le elaborazioni dei risultati penetrometrici si è utilizzato il software *Dynamic Probing* della Geostru Software. In allegato ai grafici delle prove sono riportati i valori numerici del numero di colpi e relativa resistenza dinamica (normale e ridotta) per ogni singola lettura (10 cm).

Il parametro geotecnico più significativo che si ottiene dalle prove penetrometriche dinamiche ed in particolar modo dalla *resistenza dinamica r_d* è la resistenza alla rottura del terreno. E' possibile, inoltre, correlare i dati delle prove penetrometriche dinamiche con quelli delle prove SPT (N_{spt}), utilizzati tradizionalmente per determinare una vasta gamma di parametri geotecnici dei terreni; i valori di N_{spt} per ogni singola lettura (10 cm), ottenuti utilizzando la correlazione fornita dal software *Dynamic Probing* della Geostru, sono riportati in allegato ai grafici delle prove. Altri parametri geotecnici ottenibili direttamente dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche, in modo più o meno approssimato, sono:

- la *coesione non drenata c_u* (nei soli livelli di terreno coesivo); essa permette di ottenere, tramite la relazione di Terzaghi o equivalente, la resistenza alla rottura del terreno; inoltre permette una valutazione di massima della stabilità a breve termine degli sbancamenti e dei fronti di scavo;
- il *grado di preconsolidazione OCR* (nei soli livelli di terreno coesivo); esso restituisce una descrizione di massima della storia tensionale cui è stato sottoposto il terreno sondato;
- l'*angolo di attrito Φ* (nei soli livelli di terreno incoerente); esso permette di ottenere, tramite la relazione di Terzaghi o equivalente, la resistenza alla rottura del terreno; inoltre permette di valutare la stabilità degli sbancamenti e dei fronti di scavo;
- la *densità relativa D_r* (nei soli livelli di terreno incoerente); essa indica lo stato di addensamento delle particelle che costituiscono il terreno;
- il *modulo edometrico E_{ed}* ; esso viene utilizzato per la stima dei cedimenti a cui sarà soggetto il sottosuolo a seguito della realizzazione dell'opera.

Le altre finalità delle prove penetrometriche, oltre alla caratterizzazione geotecnica e stratigrafica dei terreni, sono state quelle di definire lo spessore dei materiali superficiali alterati e la profondità del tetto del substrato roccioso, nonché rilevare le eventuali forti disomogeneità litomeccaniche dei terreni costituenti il sottosuolo. Questo dati sono elementi fondamentali nell'analisi complessiva dell'interazione fondazione-terreno e del comportamento strutturale dei manufatti previsti nel comparto.

I dati salienti emersi dall'indagine penetrometrica sono in sintesi (per i particolari si faccia riferimento ai grafici penetrometrici e relativo allegato):

- le quattro prove penetrometriche (prove P1, P2, P3 e P4) effettuate nella fascia centro-occidentale senza riporto del comparto in esame, sono state interrotte, per limiti strumentali, all'intercettazione di trovanti rocciosi estremamente consistenti appartenenti al substrato geologico (*litozona arenaceo-pelitica del membro di Pantano della Formazione di Bismantova ABI_{4b}*);
- il tetto del substrato roccioso è stato rinvenuto alla profondità dal piano campagna attuale di circa 0,6 m (prova P1), circa 0,8 m (prova P2), circa 1,3 m (prova P3) e circa 0,5 m (prova P4); in base a dati bibliografici ed a considerazioni geologiche e geomorfologiche locali, il suo spessore è di parecchie decine di metri;
- il primo sottosuolo del sito d'intervento può quindi essere descritto con la semplice successione stratigrafica di tre distinti livelli; questi, procedendo dal piano campagna in profondità e con le dovute semplificazioni, sono (p.c. = piano campagna attuale):
 - suolo e terreni alterati, presenti nei primi 30 cm circa di sottosuolo; sono inadatti, per le intrinseche caratteristiche geotecniche, ad ospitare opere fondali;
 - coltre d'alterazione in posto, rilevata al di sotto del livello precedente fino alla profondità di circa 0,5-1,3 m dal p.c.; è costituita da limo argilloso leggermente sabbioso con caratteristiche geomeccaniche generalmente molto buone (valori di *resistenza dinamica* r_d sempre maggiori di 35-40 Kg/cm²);
 - substrato roccioso (litozona arenaceo-pelitica del membro di Pantano della Formazione di Bismantova), presente al di sotto del livello precedente per alcune decine di metri; è costituito in zona prevalentemente da marne con valori resistenze alla penetrazione elevati, superiori a 50-100 Kg/cm², che tendono ad aumentare rapidamente andando in profondità; i primi decimetri della parte superficiale della compagine rocciosa è spesso alterata e/o fratturata;
- se si escludono i primi terreni superficiali, non si sono intercettati significativi livelli a scadenti caratteristiche geomeccaniche, passibili di consolidamento sotto carico;
- nei fori di prova non è stata rinvenuta la presenza della falda idrica o di venute d'acqua.

4.2 PROSPEZIONI SISMICHE CON TECNICA MASW E HVSR

È stato eseguito una prospezione sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves - Analisi Multicanale di Onde Sismiche di Superficie) e una prospezione sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) nell'area in esame. Lo scopo dei sondaggi sismici è stato quello di valutare al meglio gli effetti locali del sito, in particolar modo l'amplificazione stratigrafica, determinando la *velocità di propagazione delle onde di taglio* V_s e, nel caso, la profondità del *bedrock sismico* da cui ottenere la categoria di sottosuolo (A, B, C, D, E) oppure effettuare analisi specifiche di Risposta Sismica Locale (RSL) – e/o eventuali approfondimenti sismici di 2° o 3° livello – così come prevede il Cap. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 e la normativa regionale (D.G.R. 476-564/2021 che hanno aggiornato il D.G.R. 630/2019, la D.G.R. 2193/2015 e la D.A.L. 112/2007). Inoltre, tramite l'indagine HVSR, è possibile valutare la *frequenza caratteristica o fondamentale del sito*, che rappresenta un parametro

fondamentale per valutare la possibile insorgenza del fenomeno di risonanza terreno-struttura (doppia risonanza).

Le caratteristiche della strumentazioni utilizzati, il settaggio impostato ed i risultati ottenuti, sono riportati negli specifici allegato 1 e 2 in fondo alla presente relazione. Per le elaborazioni dei dati MASW è stato utilizzato il programma Easy Masw della Geostru, mentre per quelli HVSR è stato utilizzato il programma GeoExplorer HVSR della SARA electronic instruments S.r.l..

5. SISMICITÀ DELL'AREA, MICROZONAZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il Comune di Casina (RE) è classificato nella **zona sismica 3** (vedi Ordinanza del P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e succ. mod. ed int.) ed ha elaborato ed approvato la microzonazione sismica del territorio comunale (2° livello), anche della zona in oggetto.

Secondo la carta delle *aree suscettibili di effetti locali (MOPS)* della microzonazione sismica del Comune di Casina (vedi elaborato P12) il comparto in oggetto ricade quasi completamente nella **zona 1 – zone stabili** con substrato lapideo stratificato – non soggetta ad effetti o amplificazioni particolari in base alle Delibere di Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n.476-564 del 12-26 aprile 2021 (che hanno aggiornato la D.G.R. 630/2019, la D.G.R. 2193/2015 e la D.A.L. 112/2007 “indirizzi per gli Studi di Microzonazione Sismica in Emilia Romagna per la Pianificazione Territoriale e Urbanistica”). Solo la piccola fascia nella zona Sud-orientale del comparto, interessato dai depositi di versante, ricade nella **zona 10 – zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** (amplificazioni per caratteristiche litostratigrafiche) pertanto assoggetta al secondo livello di approfondimento sismico (che richiede un'analisi semplificata con abachi), in base alle citate Delibere di Giunta Regionale. Inoltre, il versante a monte ed a valle del comparto è per buona parte soggetto ad amplificazione per caratteristiche topografiche. Tale situazione è riproposta in modo analoga nello studio sismico effettuato nell'ambito del P.T.C.P. (vedi in Tavola 8 l'estratto delle carte sul rischio sismico del P.T.C.P. vigente di Reggio Emilia). In particolare, nella Tavola P9a (218 NO) “effetti sismici attesi” del P.T.C.P. di Reggio Emilia il comparto in esame ricade per la maggior parte nella classe H (colore bianco), senza effetti attesi, in parte nella classe E (colore giallo-verde) soggetta alla sola amplificazione topografica (zona settentrionale del comparto; zona a monte ed a valle del comparto) ed in minima parte nella classe C (colore azzurro chiaro) soggetta ad amplificazione stratigrafica (zona Sud-orientale del comparto). Nella Tavola P9b (218 NO) “livelli di approfondimento sismici” del P.T.C.P. il comparto è pertanto assoggetta per buona parte al primo livello di approfondimento sismico (colore bianco) che non richiede approfondimenti sismici di nessun tipo; solo la piccola fascia zona Sud-orientale del comparto è assoggetta al secondo livello di approfondimento sismico (colore giallo) per gli effetti stratigrafici che richiede un'analisi semplificata con abachi in base alle citate Delibere di Giunta Regionale, così come la fascia settentrionale di monte è assoggetta al secondo livello di approfondimento sismico per le sole condizioni topografiche.

Nella *carta dei fattori di amplificazione MZ* della microzonazione sismica del Comune di Casina (vedi in Tavola 8 l'estratto di tale carta - elaborato P16 della microzonazione sismica), il comparto in oggetto è campito per la maggior parte nella zona **S3**. I Fattori di Amplificazione (F.A.) per la zona **S3** elaborati dal Dr. Geol. Gian Pietro Mazzetti tramite il 2° livello di approfondimento sismico nello studio di microzonazione sismica comunale sono (vedi valori numerici nella legenda della carta dei fattori di amplificazione MZ, come riportati anche nell'estratto di Tavola 8):

F.A. **P.G.A. = 1,2**

F.A. INTENSITA' SPETTRALE **SI1** - $0,1 \text{ s} < T_0 < 0,5 \text{ s} = 1,1$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE **SI2** - $0,5 \text{ s} < T_0 < 1,0 \text{ s} = 1,0$

Solo la piccola fascia nella zona Sud-orientale del comparto, interessato dai depositi di versante, ricade nella zona **AL8** (vedi Tavola 8) i cui Fattori di Amplificazione (F.A.) elaborati dal Dr. Geol. Gian Pietro Mazzetti tramite il 2° livello di approfondimento sismico nello studio di microzonazione sismica comunale sono (vedi carta dei fattori di amplificazione MZ ed estratto di Tavola 8):

F.A. **P.G.A. = 1,6**

F.A. INTENSITA' SPETTRALE **SI1** - $0,1 \text{ s} < T_0 < 0,5 \text{ s} = 1,5$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE **SI2** - $0,5 \text{ s} < T_0 < 1,0 \text{ s} = 1,0$

Alla luce dell'indagine di dettaglio effettuata nel comparto (con riferimento in particolare alle prospezioni sismiche), di seguito vengono pertanto ricalcolati i coefficienti di amplificazione sismica (2° livello) seguendo le direttive contenute nelle D.G.R. 476-564/2021 "*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*" della Regione Emilia-Romagna.

In base all'allegato A2 della D.G.R. 476/2021, il sito d'intervento ricade nell'ambito APPENNINO ed in particolare può essere ricondotto, per le caratteristiche litostratigrafiche riscontrate (vedi Capitoli precedenti), a quello con *coperture direttamente poggianti sul substrato rigido* (bedrock sismico, cioè caratterizzato da *velocità di propagazione delle onde di taglio* $V_S \geq 800 \text{ m/s}$). L'analisi congiunta delle prospezioni sismiche MASW e HVSR effettuate nel comparto (vedi allegato 1 e 2 a fine relazione) ha infatti rilevato la presenza del *bedrock sismico* nei primi metri del sottosuolo, a circa 7,3 m dal piano campagna. In realtà il substrato rigido dovrebbe essere considerato a circa 1,3 m dal piano campagna (quindi sub-affiorante) in quanto da tale profondità è presente il substrato geologico, di natura marnoso, che presenta valori di *velocità di propagazione delle onde di taglio* V_S appena inferiori a 800 m/sec (circa 750 m/sec); in tale caso non si avrebbero fattori di amplificazione (categoria di sottosuolo A). Per agire a favore della sicurezza, si è considerato che i primi sette metri circa di sottosuolo siano costituiti da terreni di copertura e non da materiali rocciosi.

Utilizzando una *velocità equivalente delle onde di taglio* $V_{SH} \cong 450-500 \text{ m/sec}$, con $H \cong 7,3 \text{ m}$ (spessore della copertura), come dai risultati MASW e soprattutto HVSR in allegato (e relative descrizione nei paragrafi successivi), i Fattori di Amplificazione (F.A.) desunti dalle Tabelle dell'allegato A2.1 della D.G.R. 476/2021 sono (vedi tabelle APPENNINO - *coperture direttamente poggianti sul substrato rigido* riportate di seguito, estratte dall'allegato A.2.1.1 della D.G.R. 476/2021):

F.A. P.G.A. $\cong 1,0-1,2$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE SA1 - $0,1 s < T_0 < 0,5 s \cong 1,0$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE SA2 - $0,4 s < T_0 < 0,8 s \cong 1,0$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE SA3 - $0,7 s < T_0 < 1,1 s \cong 1,0$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE SI1 - $0,1 s < T_0 < 0,5 s \cong 1,0$

F.A. INTENSITA' SPETTRALE SI2 - $0,5 s < T_0 < 1,0 s \cong 1,0$

Tabelle per l'APPENNINO con substrato marino non rigido affiorante o subaffiorante

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0
20	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0	
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0
30		1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2
35		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
40		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
30		3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
35		3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
40		3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
50		2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
20	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
25	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
30		2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
35		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
30		2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
35		3,1	2,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	2,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
50		3,5	3,3	2,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
35		2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
30		2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
35		3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
50		3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1

Fattore di Amplificazione **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)

Tali valori sono in linea con quelli indicati nella microzonazione sismica comunale ed essendo calcolati specificatamente per ambito in esame (ambito ATR17), tramite il supporto di specifiche indagini in situ, posso essere assunti come i fattori di amplificazioni sismica più attendibili per l'intero comparto.

I Fattori di Amplificazione (F.A.) così ottenuti rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con l'accelerazione di picco orizzontale (PGA) e l'intensità spettrali SI e SA, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A (così come definita nella Tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018).

Avendo il versante su cui ricade il comparto in esame pendenze medie non maggiori di 15° (dell'ordine dei 14-15°) ed essendo il comparto stesso posto nella parte medio-bassa del rilievo, gli effetti topografici potrebbero essere trascurati (vedi Allegato A2.2 della D.G.R. 476/2021). Per la progettazione esecutiva, in via cautelativa, si consiglia comunque di considerare un *coefficiente di amplificazione topografico* S_t pari a 1,1 (vedi Tabella 3.2.VI del D.M.17/01/2018 per siti posti in zona mediana di pendii o rilievi che hanno pendenze maggiori di 15°).

Alla luce dei risultati dell'indagine effettuata e dei fattori di amplificazione sismica ottenuti, per l'edificazione dell'ambito ATR17 in esame è perciò possibili far riferimento ai valori d'amplificazione calcolati secondo la normativa sismica discendente dal D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), considerando contestualmente l'amplificazione dovuta all'assetto topografico come prima precisato. Infatti, nel conteso geologico-sismico descritto precedentemente e qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie (A, B, C, D ed E) definite nella Tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018, come nel sito in oggetto caratterizzato dal graduale miglioramento generale delle proprietà meccaniche con la profondità e dall'assenza di significativi livelli di terreno a scadenti caratteristiche geomeccaniche o liquefacibili¹, la norma (Cap. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018) prevede che per valutare l'effetto della risposta sismica locale, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si possa fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della *velocità di propagazione delle onde di taglio* V_s ².

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della *velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio* $V_{s,eq}$ (in m/s), come definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

- h_i *spessore dell'i-esimo strato;*
- $V_{s,i}$ *velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;*
- N *numero di strati;*
- H *profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.*

Per depositi con *profondità H del substrato* superiore a 30 m, la *velocità equivalente delle onde di taglio* $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione (3.2.1) e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

¹ Vedi microzonazione sismica, i risultati dell'indagine effettuata nel sito d'intervento e gli studi effettuati in zona dal sottoscritto o da altri tecnici, che denotano l'assenza di rischio liquefazione (assenza di livelli sabbiosi o sabbioso-limosi poco addensati e saturi nei primi 10-20 m del sottosuolo) e la presenza, invece, di terreni prevalentemente rocciosi (marna) con caratteristiche geomeccaniche generalmente buone-ottime, che migliorano mediamente con la profondità (vedi anche Capitolo 6 conclusivo).

² In caso contrario, l'effetto della risposta sismica locale si deve valutare mediante specifica analisi da eseguire con le modalità indicate nel Cap. 7.11.3 del D.M. 17/01/2018.

Dai risultati dell'analisi delle prospezioni sismiche effettuate nel comparto (MASW e HVSR), il *substrato rigido* o *bedrock sismico* (formazione con valori della *velocità di propagazione delle onde di taglio* $V_S > 800$ m/sec) è risultato posto alla profondità di circa 7 m dal piano campagna. Il valore minimo di *velocità equivalente delle onde di taglio* $V_{S,eq}$ (fino alla profondità del bedrock sismico) è risultata pari a circa **465 m/s** in corrispondenza della prova HVSR (per i risultati delle indagini sismiche si vedano gli allegati 1 e 2 a fine relazione)³. Si è proceduto dapprima ad analizzare i dati delle MASW alla luce della stratigrafia del sottosuolo ottenuta dall'indagine geognostica effettuata nel comparto ed in zona (penetrometrie, saggi, sondaggio). Come noto, le MASW forniscono valori della *velocità di propagazione delle onde di taglio* V_S affidabili soprattutto nei primi 15-20 m del sottosuolo. Per affinare i risultati soprattutto in profondità si è poi proceduto con l'analisi della prova HVSR, utilizzando come modello sismostratigrafico delle prime decine di metri quello elaborato dalla MASW. L'analisi HVSR può fornire infatti risultati significativo anche oltre i 100-200 m di profondità se nel sottosuolo sono presenti significativi contrasti di impedenza tra gli strati, come il passaggio netto da terreni di copertura e substrato roccioso, da sedimenti fini teneri a grossolani addensati, ecc. e se si conoscono le profondità degli strati riflettenti e/o la V_S dei terreni sovrastanti. Il modello sismostratigrafico ottenuto dall'analisi congiunta ha pertanto un grado di attendibilità buono e mostra un'importante inversione di velocità delle onde V_S nei primi metri del sottosuolo, in corrispondenza del passaggio dai terreni di copertura superficiali al substrato roccioso. La sismostratigrafia del sito è costituita da valori della *velocità di propagazione delle onde di taglio* V_S dell'ordine dei 150-300 m/sec nel primo paio di metri di sottosuolo (terreni di copertura e parte superficiale dell'ammasso roccioso alterato-fratturato), seguiti da valori di V_S passanti a quasi 750 m/sec fino a circa 7 m dal piano campagna (substrato "non rigido" o meglio, "quasi rigido"), poi a valori superiori a 900 m/sec più in profondità (substrato "rigido"). Visto il valore ottenuto di *velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio* $V_{S,eq}$ (compreso tra 360 m/s ed 800 m/s) e dato che i terreni del sottosuolo sono caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e non sono suscettibili di liquefazione (vedi nota 1 e Capitolo 6 conclusivo), si può assegnare il sedime dell'area in oggetto alla categoria B di sottosuolo (*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). Conferma della categoria di sottosuolo così determinata si è avuta dai risultati di varie indagini sismiche effettuate in zona (vedi in particolare gli elaborati della microzonazione sismica del Comune di Casina per la zona del capoluogo).

Tale categoria di sottosuolo determina un *coefficiente di amplificazione stratigrafica* S_S pari a circa **1,2** in base alla Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018. Il *coefficiente di amplificazione stratigrafica* S_S è comparabile, tra i fattori di amplificazione della microzonazione sismica, solo con il F.A. **P.G.A.**. Nel caso in oggetto il F.A. **P.G.A.** è risultata pari a **1,0-1,2** per tutto il comparto (vedi paragrafi precedenti), quindi uguale o

³ Il valore di $V_{S,eq}$ è stato determinato, come prevede la norma (D.M. 17/01/2018), escludendo il primo metro di sottosuolo entro cui non dovranno essere alloggiati le fondazioni dell'intervento previsto. Nel calcolo del valore di $V_{S,eq}$ si è considerata l'elaborazione che restituisce valori medi, in modo da compensare eventuali sovrastime o sottostime dovute a possibili errori strumentali e di elaborazione (che generalmente possono ammontare a circa $\pm 20\%$ del valore reale di $V_{S,eq}$).

inferiore (e perciò meno cautelativo) al *coefficiente di amplificazione stratigrafica* S_s derivante dalla categoria B di sottosuolo.

Come già accennato prima, in base alla morfologia (versante con pendenza media dell'ordine dei 14°-15°), il comparto in oggetto può essere classificabile cautelativamente nella categoria topografica T2 (*pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$*). Essendo il comparto posto nei pressi della zona medio-bassa del versante, si consiglia di adottare in via cautelativa un *coefficiente di amplificazione topografico* S_t pari a **1,1** (vedi Tabella 3.2.VI del D.M.17/01/2018).

La curva H/V elaborata dalla prova HVSR effettuata sito d'intervento (vedi allegato 2) mostra la presenza di alcune zone con "picchi" delle frequenze ben distinte, la prima più netta intorno ai 30 Hz (ampiezza pari a 5-6), la seconda intorno a 1 Hz molto meno accentuata (ampiezza circa uguale a 2) e la terza più sfumata tra 5-9 Hz. Mentre la prima è sicuramente imputabile al passaggio tra i terreni di copertura e quelli rocciosi (substrato "geologico" e bedrock sismico "quasi rigido"), intorno alla profondità di un metro dal piano campagna, le altre denotano incrementi di velocità più gradualmente in profondità, sia nelle prime decine di metri che a profondità molto più elevate. Il primo picco dovuto al substrato roccioso, per avendo frequenze alte (e perciò scarso significato ai fini ingegneristici per la valutazione degli effetti sismici) è comunque da considerare come *frequenza fondamentale* f_0 del sito (con valore puntuale di circa **31,2 Hz**). Da questo si ricava il *periodo fondamentale* t_0 del sito, pari a circa **0,032 sec**. Essi sono utili al progettista strutturale dell'opera previste nel comparto per valutare la possibile insorgenza del fenomeno di risonanza terreno-struttura (doppia risonanza).

Per la definizione dell'azione sismica, utile soprattutto in fase di progettazione esecutiva degli interventi previsti nel comparto, le norme prevedono l'applicazione del catalogo parametrico CPTI04, database realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, introducendo i valori di *accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido* a_g in corrispondenza dei punti di un reticolo, i cui nodi non distano fra loro più di 4 km. Se il sito in esame non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, il valore del parametro a_g può essere ricavato come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Inoltre, occorre definire la *vita nominale* V_N , la *classe d'uso* (quattro classi, I, II, III e IV, che determinano il *coefficiente d'uso* C_U) ed il *periodo di riferimento* V_R (sempre maggiore od uguale a 35 anni) della struttura o strutture previste nel comparto in oggetto. Questi concorrono, insieme alla *probabilità di superamento* P_{VR} nel periodo di riferimento V_R (associato a ciascuno degli stati limite previsti), a definire il *tempo di ritorno* T_R dell'azione sismica e perciò le forme spettrali dell'azione sismica di progetto. Quest'ultime sono poi definite in funzione dell'*accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido* a_g (*pericolosità sismica*), del *valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale* F_0 e del *periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale* T^*c .

6. NOTE CONCLUSIVE

Dall'indagine svolta emerge un parere favorevole, da un punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico, al carico urbanistico previsto nell'ambito ATR17 (proposta di accordo operativo ai sensi dell'Art.38 della L.R. 24/2017). L'area gode di un buon grado di stabilità, determinato dalla presenza del substrato litoide di natura prevalentemente marnosa nel primo sottosuolo (nelle zone senza riporto), dalla giacitura formazionale quasi a reggipoggio e dall'assenza d'alcun indizio di degrado idrogeologico in senso lato. Anche i terreni di riporto prevalentemente grossolani che da

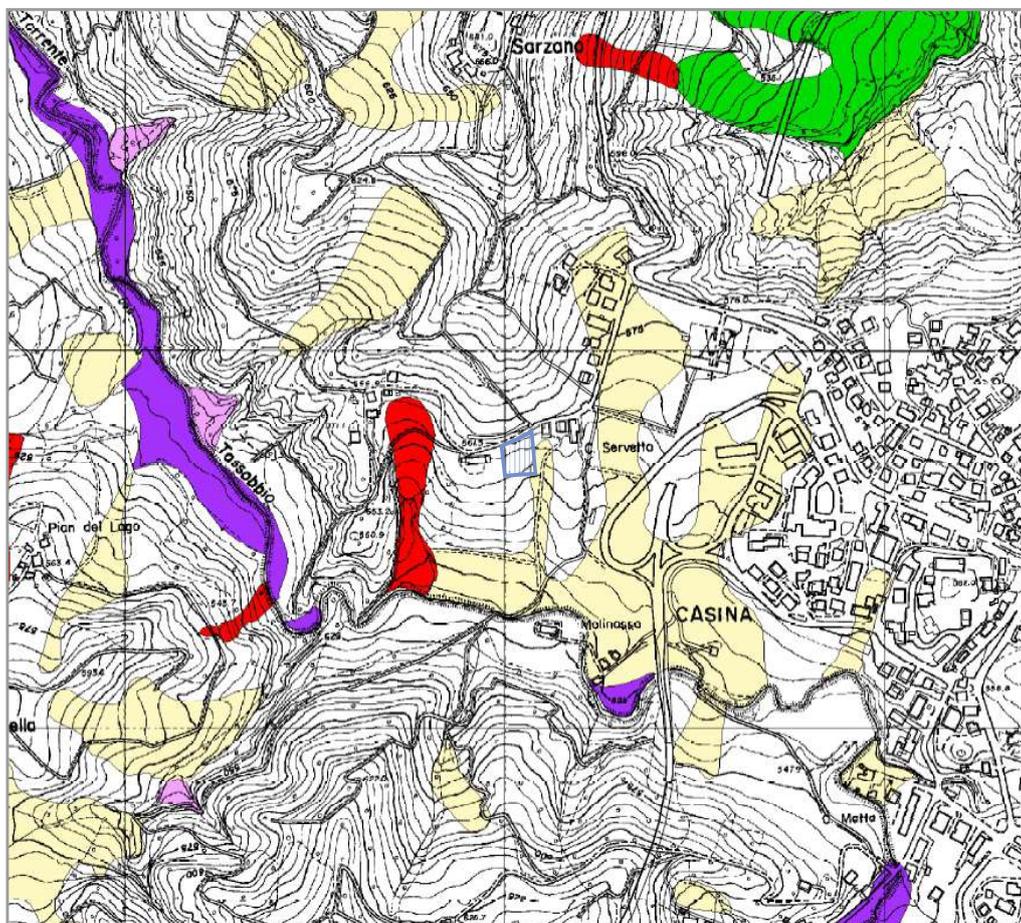
decenni ricoprono tutta la parte centrale e Nord-orientale del comparto risultano ben assestati e non mostrano nessun segno d'instabilità. La loro eventuale ricollocazione o sistemazione finale in funzione dell'edificazione del comparto, così come gli eventuali nuovi sbancamenti o riporti, dovranno essere oggetto di specifico approfondimento che "indirizzi" anche la progettazione esecutiva dei manufatti e delle opere previste. In generale, comunque, il primo sottosuolo mostra caratteristiche geomeccaniche idonee all'edificazione. Il carico urbanistico prospettato, di modesta entità ($SU = 190 \text{ mq}$), se realizzato nel rispetto delle prescrizioni impartite nella presente relazione (e di quelle che dovessero emergere nel successivo studio per la fase esecutiva delle opere) non può in alcun modo pregiudicare le attuali buone condizioni d'equilibrio del versante. Allo stesso modo non esistono masse incombenti instabili a monte dell'appezzamento in questione. Tutto questo rende quindi l'area esente da rischio idrogeologico in s.l.. Si sottolinea come il comparto in oggetto non sia perimetrata all'interno di zone a rischio idrogeologico nella Carta del Dissesto parte integrante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (P.A.I.).

Non si danno pertanto indicazioni riguardanti l'ubicazione dei volumi fabbricabili ne' rispetto alle caratteristiche stesse degli edifici (distribuzione dei carichi, presenza di piani interrati, ecc.) che saranno da valutare in concertazione tra i vari tecnici incaricati per approntare il progetto esecutivo di edificazione del comparto (geologo, ingegnere, architetto, geometra, ecc.). Per la scelta più opportuna del tipo di fondazione, del carico d'esercizio e dei parametri geotecnici dei terreni da adottare nella successiva fase esecutiva, così come per ogni altra esigenza di carattere tecnico, una volta note l'esatta ubicazione degli interventi previsti e le loro caratteristiche si potranno elaborare in modo più dettagliato i dati raccolti nel presente studio ed eventualmente approfondire in modo puntuale l'indagine geognostica. L'unica prescrizione a tal proposito riguarda l'assoluta inadeguatezza dei terreni di riporto presenti nell'area quale piano di posa delle future opere fondali (in tal caso occorreranno fondazioni su pali). Inoltre, si dovrà evitare di alloggiare parte delle fondazioni sulla coltre di alterazione e parte sul substrato roccioso per evitare assestamenti o cedimenti differenziali delle strutture.

Per l'assenza di una falda idrica nel primo sottosuolo e la presenza di litotipi sostanzialmente rocciosi (marne e/o areniti) per parecchie decine di metri, nonché dalle considerazioni svolte al Capitolo 5.1, in conformità al Capitolo 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018 ed alle D.G.R. n. 476-564 del 12-26 aprile 2021, si può escludere il rischio di liquefazione dei terreni di fondazione. Questo fatto insieme alle condizioni stratigrafiche ed alle proprietà dei terreni, ha permesso di proporre l'approccio semplificato previsto dal Cap. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018 al fine di valutare l'effetto della risposta sismica locale, dopo aver comunque confrontato i risultati ottenuti con quelli riportati nella microzonazione sismica del Comune di Casina e nel P.T.C.P. della Provincia Reggio Emilia.

Si assevera che la presente indagine è stata svolta in ottemperanza alle disposizioni contenute nella Legge n.64 del 02/02/1974 e succ. mod. ed int., in conformità al D.M. LL.PP. 11/03/1988, alla Circ. LL.PP. 24/09/1988 n.30483, alla Circ. LL.PP. 09/01/1996 n.218/24/3, alla L.R. 20/2000 e succ. mod. ed int., alle D.G.R. 476-564/2021 (che hanno aggiornato il D.G.R. 630/2019, la D.A.L. 112/2007 e s.m.i.), al D.M. 17/01/2018 (che ha sostituito il D.M. 14/01/2008) ed alla Circolare 21/01/2019 n.7 C.S.LL.PP..

Estratto Carta del Dissesto
Sezione n. 218 060 LEGUIGNO



scala 1:10.000



Area di studio (ambito ATR17)



Area di frana attiva (a1)



Area di frana quiescente (a2)



Depositi di versante in s.l. (a3)



Depositi alluvionali in evoluzione (b1)



Conoide in evoluzione

**PIANO PER L'ASSETTO
IDROGEOLOGICO (P.A.I.)
E PIANO TERRITORIALE DI
COORDINAMENTO (P.T.C.P.)**

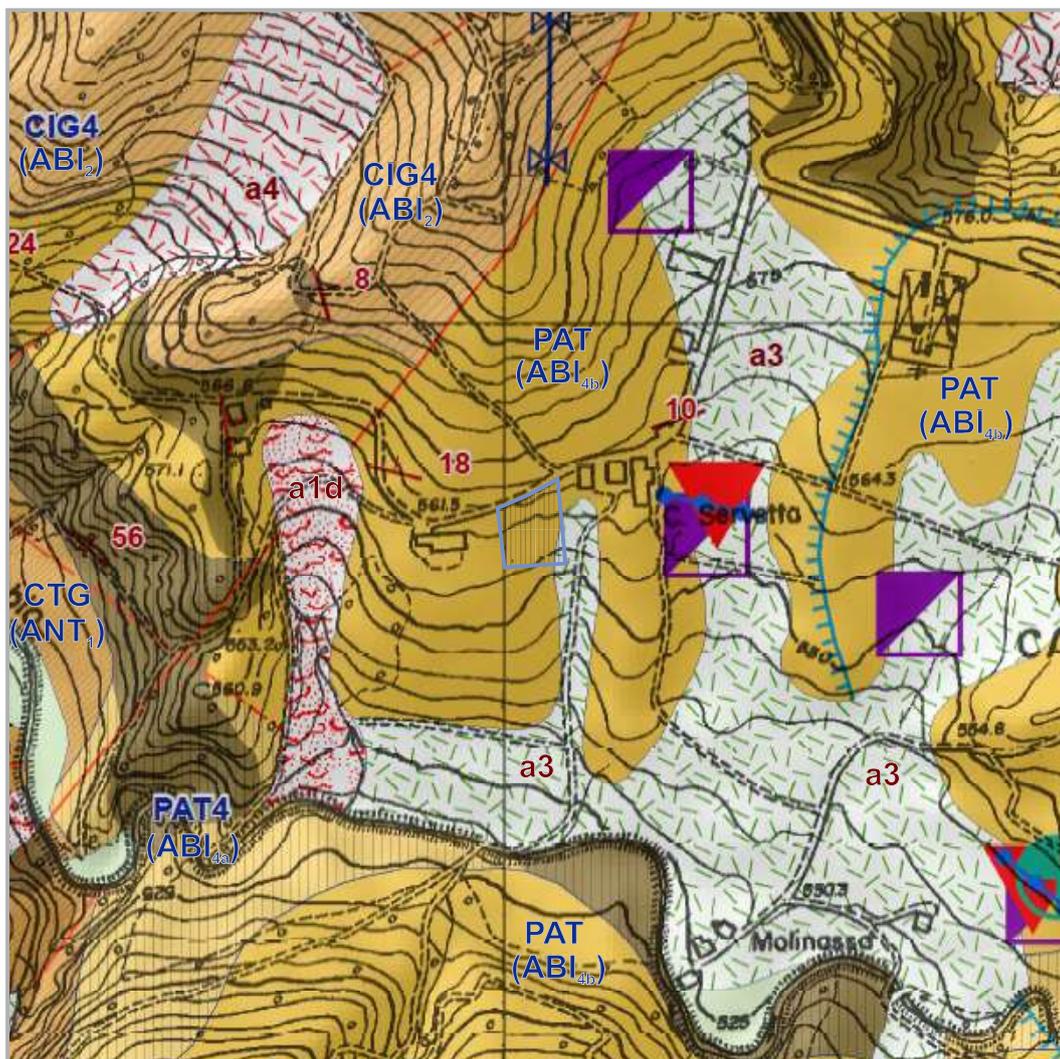
data: ottobre 2021

comm: Sig. VALLI Maurizio

dis:

**TAVOLA
1a**

Estratto della Cartografia Geologica della
Regione Emilia-Romagna - Sezione 218 060 Leguigno



scala 1:5.000



**CARTA GEOLOGICA
E GEOMORFOLOGICA**

data: ottobre 2021

comm: Sig. VALLI Maurizio

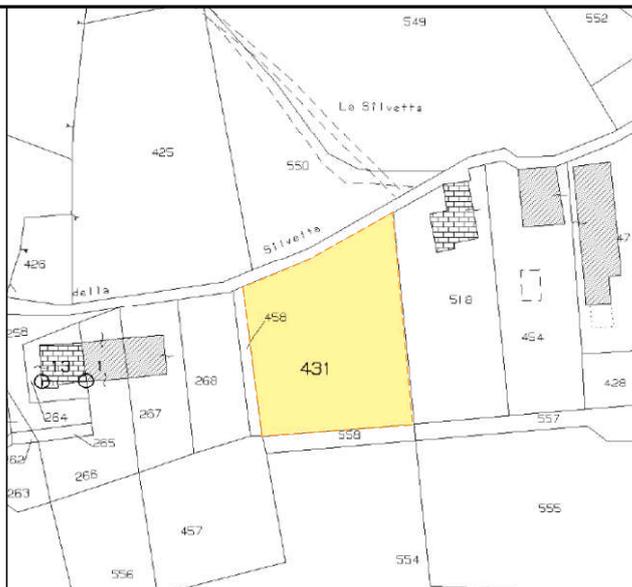
dis:

**TAVOLA
1b**

Comune di Casina (RE)
 Planimetria Catastale
 scala 1:2.000
 Foglio n.38
 Mappale n.431



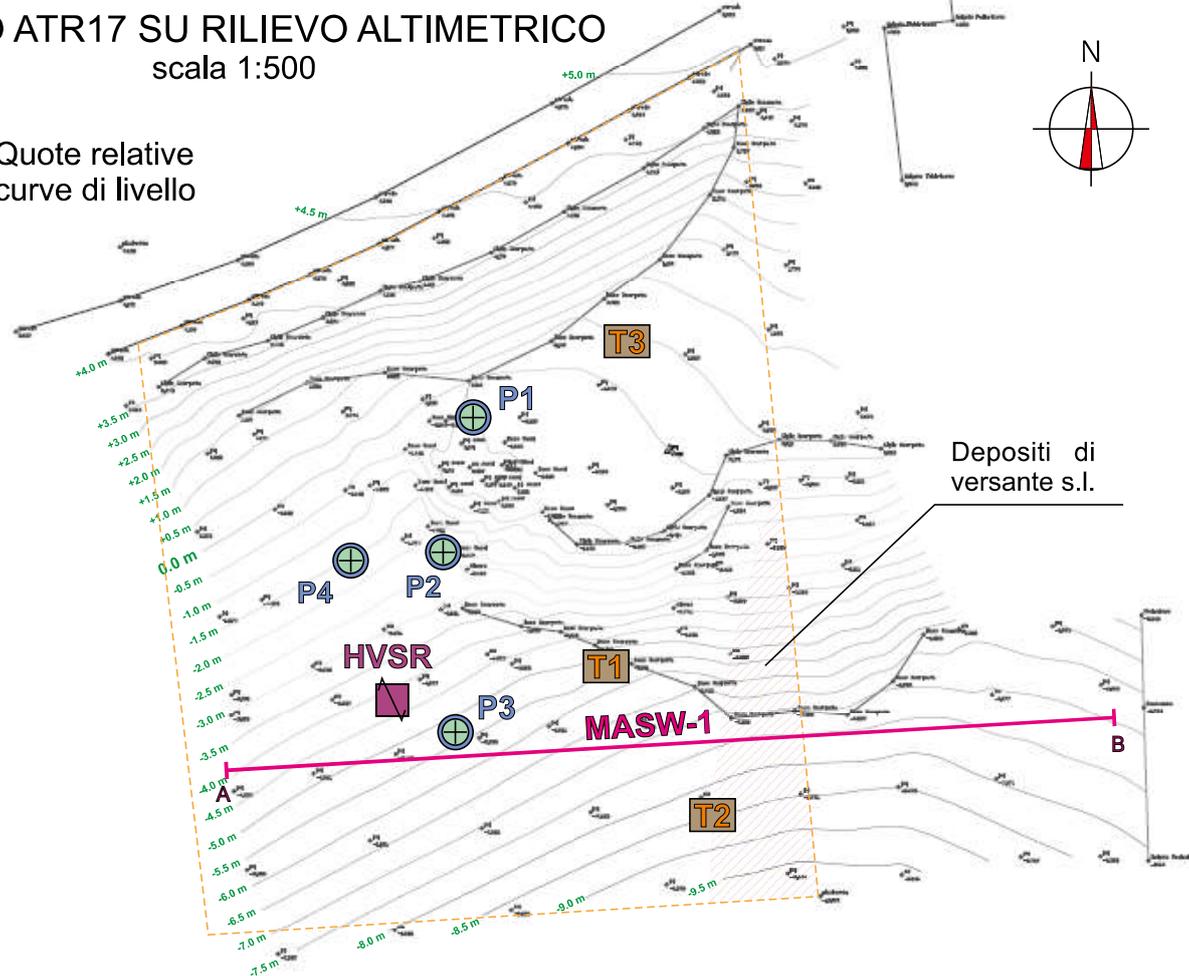
Area di studio (ambito ATR17)



AMBITO ATR17 SU RILIEVO ALTIMETRICO
 scala 1:500

+2.0 m

Quote relative
 curve di livello



Prove penetrometriche
 dinamiche



Prospezione sismica
 passiva (HVSR)



Saggi esplorativi



Prospezione sismica attiva (MASW)

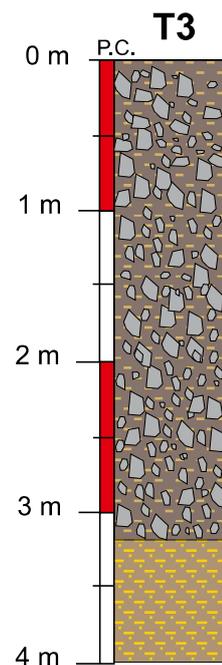
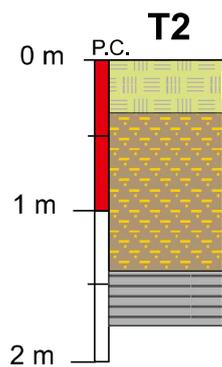
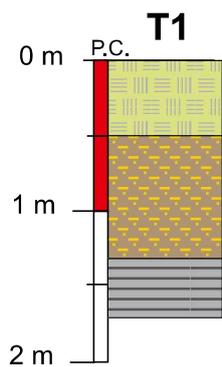
**ESTRATTO PLANIMETRIA
 CATASTALE ED UBICAZIONE
 PROVE GEOGNOSTICHE**

data: ottobre 2021

comm: Sig. VALLI Maurizio

dis:

**TAVOLA
 2**



Suolo e terreno agrario



Riporto prevalentemente grossolano (blocchi marnosi Φ 1-50 cm, qualche mattone e terra)



Limo argilloso debolmente sabbioso bruno, asciutto, consistente ma friabile



Marna grigio-chiara compatta (substrato roccioso)

P.C. = piano campagna

STRATIGRAFIA DEI SAGGI ESPLORATIVI

data: ottobre 2021

comm: Sig. VALLI Maurizio

dis:

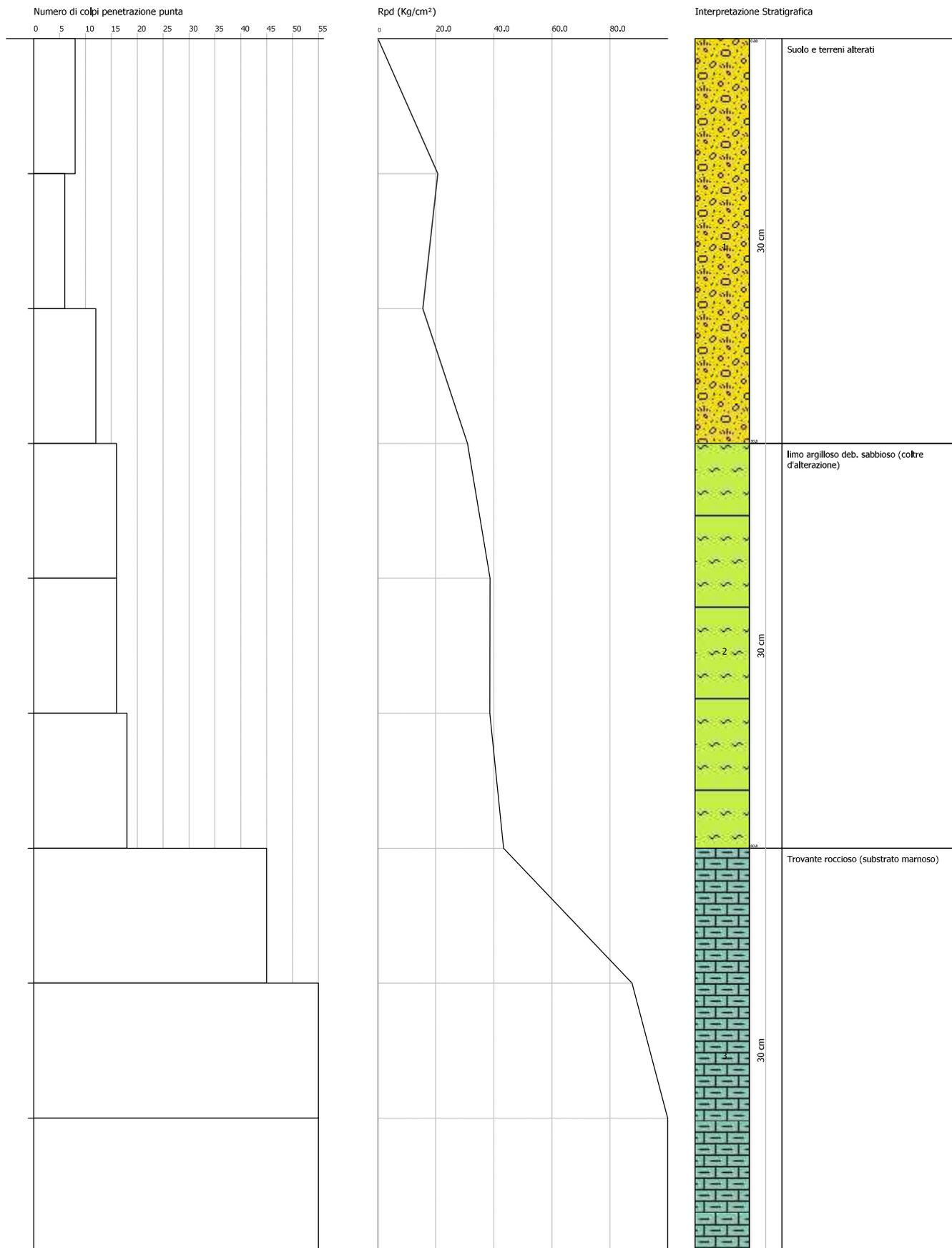
**TAVOLA
3**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DINASTAR (60°) punta perdere

Committente: Sig. VALLI Maurizio
 Cantiere: Ambito ATR17 - C. Servetta - Via Dante Alighieri
 Località: Comune di Casina (RE)

Data: 02/10/2021

Scala 1:4



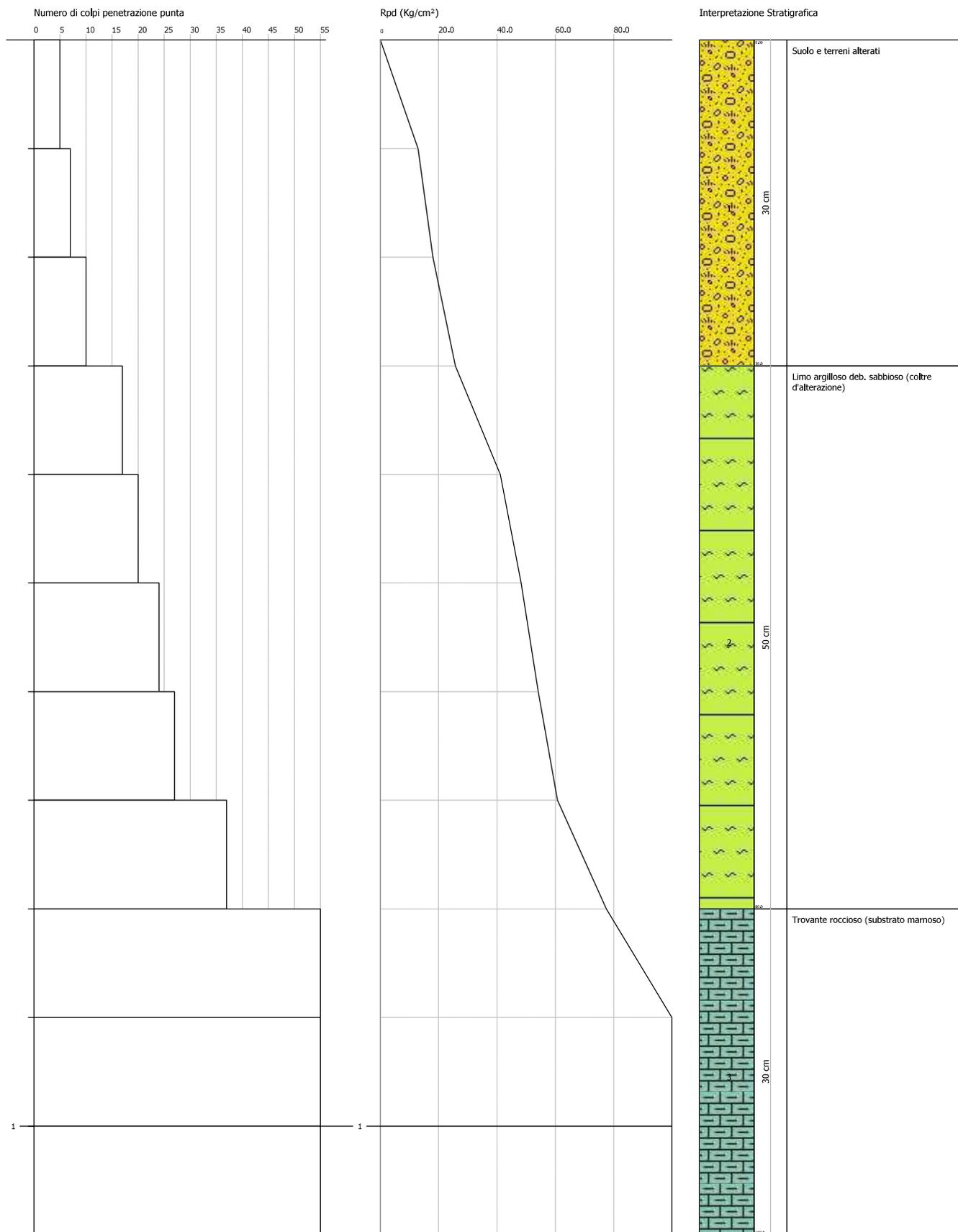


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DINASTAR (60°) punta perdere

Committente: Sig. VALLI Maurizio
Cantiere: Ambito ATR17 - C. Servetta - Via Dante Alighieri
Località: Comune di Casina (RE)

Data: 02/10/2021

Scala 1:5



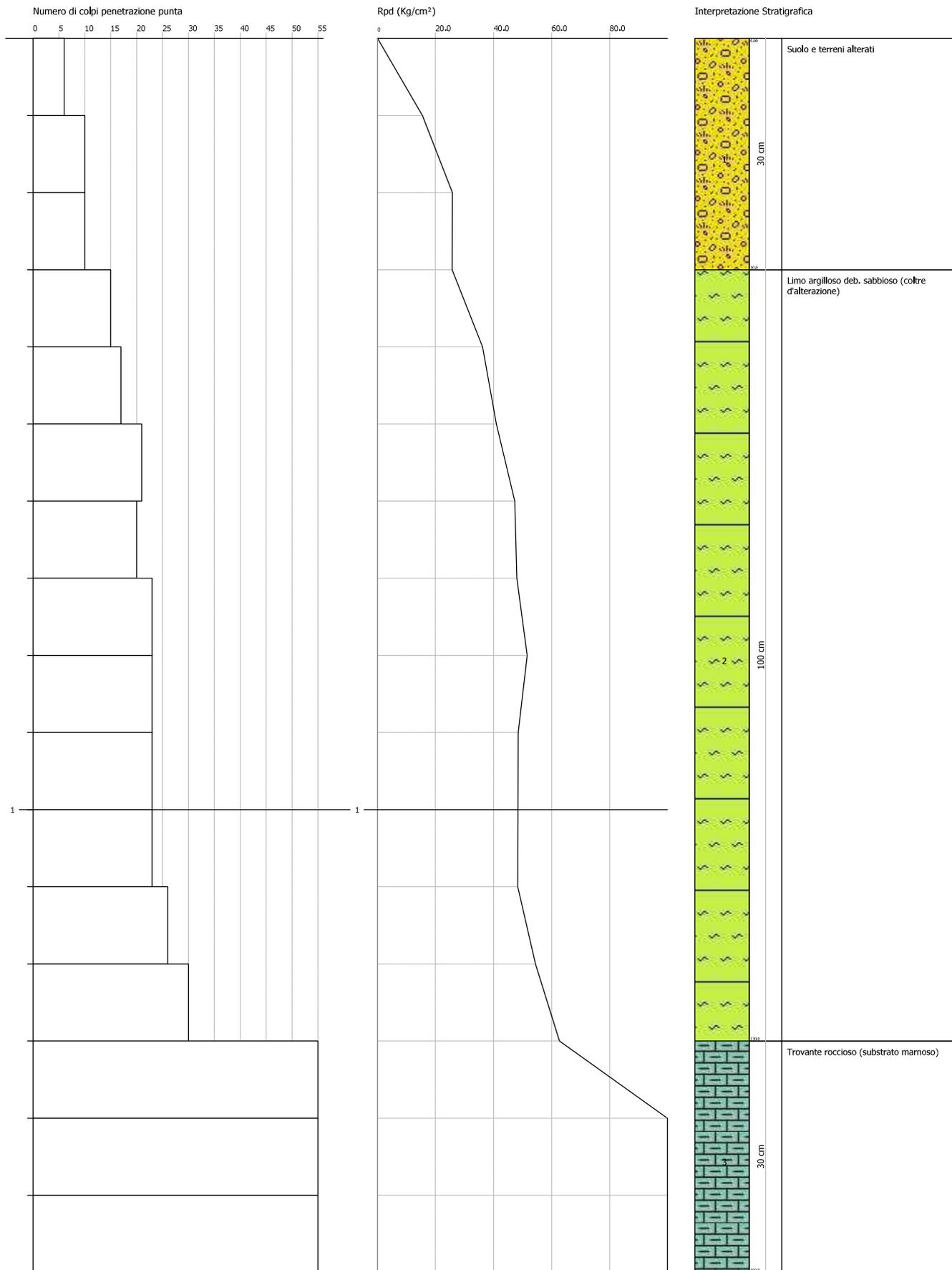


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DINASTAR (60°) punta perdere

Committente: Sig. VALLI Maurizio
Cantiere: Ambito ATR17 - C. Servetta - Via Dante Alighieri
Località: Comune di Casina (RE)

Data: 02/10/2021

Scala 1:1



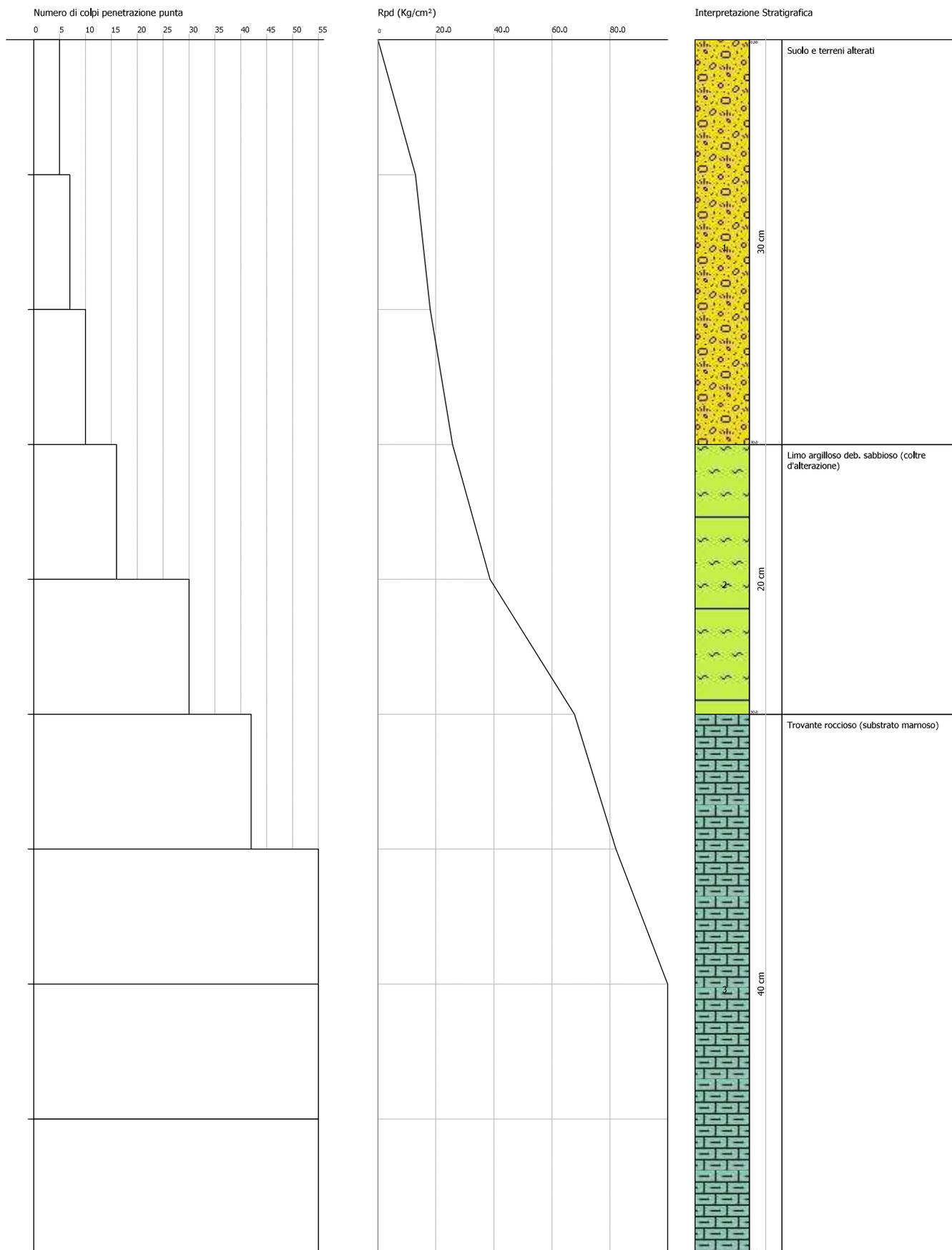


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... **DINASTAR (60°) punta perdere**

Committente: Sig. VALLI Maurizio
Cantiere: Ambito ATR17 - C. Servetta - Via Dante Alighieri
Località: Comune di Casina (RE)

Data: 02/10/2021

Scala 1:1



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: **Sig. VALLI Maurizio**
 Cantiere: Ambito ATR17 - C. Servetta - Via Dante Alighieri
 Località: Comune di Casina (RE)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DINASTAR punta a perdere (60°)

Rif. Norme	DIN 4094	Peso aste a metro	3.6 Kg/m
Peso Massa battente	30 Kg	Profondità giunzione prima asta	0.90 m
Altezza di caduta libera	0.20 m	Avanzamento punta	0.10 m
Peso sistema di battuta	26 Kg	Numero colpi per punta	N(10)
Diametro punta conica	35.68 mm	Coeff. Correlazione	0.72-0.74
Area di base punta	10 cm ²	Rivestimento/fanghi	No
Lunghezza delle aste	1 m	Angolo di apertura punta	60°

OPERATORE
dr. Federico Mattioli

RESPONSABILE
dr. Federico Mattioli

Correlazione con N_{spt}

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

$$N_{spt} = \beta_t N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

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

- R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);
- e = infissione media per colpo (δ/N);
- M = peso massa battente (altezza caduta H);
- P = peso totale aste e sistema battuta.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981. Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato: DINASTAR punta a perdere (60°)
Profondità prova: 0,9 m

Prova eseguita in data 02/10/2021
Falda idrica non rilevata

TERRENI COESIVI ED INCOERENTI

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. Dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Nspt	Classificaz. A.G.I. (1977)	Litologia
0.10	8	0.857	20.70	24.16	6	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.20	6	0.855	15.49	18.12	4	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.30	12	0.853	30.90	36.24	9	consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.40	16	0.801	38.69	48.32	12	consistente	[2] - limo argilloso deb. Sabbioso (coltre d'alterazione)
0.50	16	0.799	38.60	48.32	12	consistente	[2] - limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.60	18	0.797	43.33	54.36	13	consistente	[2] - limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.70	45	0.645	87.68	135.91	33	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
0.80	80	0.643	155.44	241.61	59	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
0.90	100	0.642	193.75	302.01	74	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)

SUDDIVISIONE IN STRATI (elaborazione con valori medi)

Prof. Strato (m)	NPDM (Media)	Rd (Kg/cm ²) (Media)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt (Media)	Descrizione
0.3	9	26.17	Coesivo	0	1.83	1.89	0.03	0.74	6	Suolo e terreni alterati
0.6	17	50.34	Inc. - Coe.	0	2.02	2.11	0.09	0.74	12	limo argill. deb. sab. (coltre d'alter.)
0.9	> 60	226.51	Inc. - Coe.	0	2.25	2.35	0.15	0.74	> 50	Trovante roccioso (substr. marnoso)

NPDM = Nr. Colpi

Rd = Resistenza dinamica

Nspt = Nr. Colpi prova SPT (Standard Penetration Test)

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato: DINASTAR punta a perdere (60°)
Profondità prova: 1,1 m

Prova eseguita in data 02/10/2021
Falda idrica non rilevata

TERRENI COESIVI ED INCOERENTI

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. Dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Nspt	Classificaz. A.G.I. (1977)	Litologia
0.10	5	0.857	12.94	15.10	4	poco consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.20	7	0.855	18.07	21.14	5	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.30	10	0.853	25.75	30.20	7	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.40	17	0.801	41.11	51.34	13	consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.50	20	0.799	48.25	60.40	15	consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.60	24	0.747	54.15	72.48	18	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.70	27	0.745	60.76	81.54	20	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.80	37	0.693	77.48	111.75	27	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.90	60	0.642	116.25	181.21	44	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
1.00	80	0.640	145.77	227.85	59	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
1.10	100	0.638	181.71	284.81	73	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)

SUDDIVISIONE IN STRATI (elaborazione con valori medi)

Prof. Strato (m)	NPDM (Media)	Rd (Kg/cm ²) (Media)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt (Media)	Descrizione
0.3	7	22.15	Coesivo	0	1.78	1.86	0.03	0.74	5	Suolo e terreni alterati
0.8	25	75.5	Inc. - Coe.	0	2.09	2.18	0.11	0.74	18	limo argill. deb. sab. (coltre d'alter.)
1.1	> 60	231.29	Inc. - Coe.	0	2.25	2.35	0.19	0.74	> 50	Trovante roccioso (substr. marnoso)

NPDM = Nr. Colpi

Rd = Resistenza dinamica

Nspt = Nr. Colpi prova SPT (Standard Penetration Test)

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato: DINASTAR punta a perdere (60°)
Profondità prova: 1,1 m

Prova eseguita in data 02/10/2021
Falda idrica non rilevata

TERRENI COESIVI ED INCOERENTI

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. Dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Nspt	Classificaz. A.G.I. (1977)	Litologia
0.10	6	0.857	15.52	18.12	4	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.20	10	0.855	25.81	30.20	7	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.30	10	0.853	25.75	30.20	7	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.40	15	0.801	36.28	45.30	11	consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.50	17	0.799	41.02	51.34	13	consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.60	21	0.747	47.38	63.42	16	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.70	20	0.795	48.03	60.40	15	consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.80	23	0.743	51.63	69.46	17	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.90	23	0.742	51.51	69.46	17	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
1.00	23	0.740	48.46	65.51	17	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
1.10	23	0.738	48.34	65.51	17	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
1.20	26	0.736	54.52	74.05	19	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
1.30	30	0.735	62.76	85.44	22	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
1.40	60	0.633	108.15	170.89	44	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
1.50	80	0.631	143.82	227.85	59	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
1.60	100	0.630	179.30	284.81	73	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)

SUDDIVISIONE IN STRATI (elaborazione con valori medi)

Prof. Strato (m)	NPDM (Media)	Rd (Kg/cm ²) (Media)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt (Media)	Descrizione
0.3	9	26.17	Coesivo	0	1.83	1.89	0.03	0.74	6	Suolo e terreni alterati
1.3	22	64.99	Inc. - Coe.	0	2.08	2.17	0.16	0.74	16	limo argill. deb. sab. (coltre d'alter.)
1.6	> 60	227.85	Inc. - Coe.	0	2.25	2.35	0.3	0.73	> 50	Trovante roccioso (substr. marnoso)

NPDM = Nr. Colpi

Rd = Resistenza dinamica

Nspt = Nr. Colpi prova SPT (Standard Penetration Test)

PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato: DINASTAR punta a perdere (60°)
Profondità prova: 1,1 m

Prova eseguita in data 02/10/2021
Falda idrica non rilevata

TERRENI COESIVI ED INCOERENTI

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. Dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. Dinamica (Kg/cm ²)	Nspt	Classificaz. A.G.I. (1977)	Litologia
0.10	5	0.857	12.94	15.10	4	poco consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.20	7	0.855	18.07	21.14	5	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.30	10	0.853	25.75	30.20	7	moderat. consistente	[1] - Suolo e terreni alterati
0.40	16	0.801	38.69	48.32	12	consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.50	30	0.749	67.85	90.60	22	molto consistente	[2] - Limo argilloso deb. sabbioso (coltre d'alterazione)
0.60	42	0.647	82.07	126.85	31	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
0.70	72	0.645	140.29	217.45	53	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
0.80	80	0.643	155.44	241.61	59	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)
0.90	100	0.642	193.75	302.01	74	estrem. consistente	[3] - Trovante roccioso (substrato marnoso)

SUDDIVISIONE IN STRATI (elaborazione con valori medi)

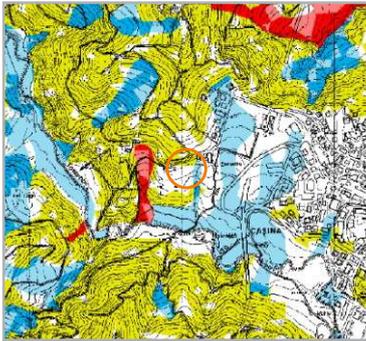
Prof. Strato (m)	NPDM (Media)	Rd (Kg/cm ²) (Media)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt (Media)	Descrizione
0.3	7	22.15	Coesivo	0	1.78	1.88	0.03	0.74	5	Suolo e terreni alterati
0.5	23	69.46	Inc. - Coe.	0	2.08	2.17	0.07	0.74	17	limo argill. deb. sab. (coltre d'alter.)
0.9	> 60	221.98	Inc. - Coe.	0	2.25	2.35	0.14	0.74	> 50	Trovante roccioso (substr. marnoso)

NPDM = Nr. Colpi

Rd = Resistenza dinamica

Nspt = Nr. Colpi prova SPT (Standard Penetration Test)

Tavola P9b - 218 NO - Carta dei livelli di approfondimento
P.T.C.P. di Reggio Emilia

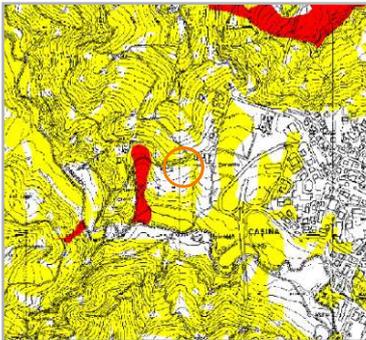


scala 1:25.000

○ Area di studio (ambito ATR17)

CLASSI	EFFETTI ATTESI				
	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	INSTABILITA' DI VERSANTE	CEDIMENTI	LIQUEFAZIONE
A	X		X		
B	X		X		
C	X				
D	X				
E		X			
F	X				X
G	X			X (potenziale)	
H					

Tavola P9a - 218 NO - Carta degli effetti attesi
P.T.C.P. di Reggio Emilia



scala 1:25.000

○ Area di studio (ambito ATR17)

LIVELLI DI APPROFONDIMENTO

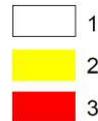


Tavola P16 - Carta dei fattori di amplificazione (MZ) - 2° Livello di approfondimento
Microzonazione Sismica del Comune di Casina



scala 1:5.000



Area di studio (ambito ATR17)

ZONE STABILI
[F.A. P.G.A. / F.A. IS 0.1-0.5 / F.A. IS 0.5-1]

S3

1.2
1.1
1

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
[F.A. P.G.A. / F.A. IS 0.1-0.5 / F.A. IS 0.5-1]

AL8

1.6
1.5
1

**RISCHIO SISMICO DEL
P.T.C.P. E MICROZONAZIONE
SISMICA COMUNALE**

data: ottobre 2021

comm: Sig. VALLI Maurizio

dis:

**TAVOLA
8**

ALLEGATO 2

Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

GHOSTUDIO Geologi Associati di Merlini - Monelli - Mattioli	Via C. Franceschini, 26 42035 Castelnovo ne' Monti (RE) Tel: 0522 811948 Fax: 0522 811948 e-mail: gstdmmm@libero.it
C.F.: 01670340353 P.IVA: 01670340353	

Data prova: 11 settembre 2021 ore 11.15
Committente: Sig. VALLI Maurizio
Cantiere: C. Servetta – Via Dante Alighieri Località: Comune di Casina (RE)
Il Tecnico: Geol. Federico Mattioli

HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), in origine proposta da Nogoshi e Iagarashi (1971) ed in seguito diffusa da Nakamura (1989), consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) dei microtremiti sismici ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

In linea di principio, visto che il terreno è assimilabile ad un corpo viscoelastico, è possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione in ogni punto; queste frequenze vengono determinate dalle proprietà meccaniche del suolo e dalla morfologia attorno al punto di misura. L'analisi HVSR permette quindi di identificare anche i contrasti di impedenza tra gli strati del sottosuolo dai "picchi" nel grafico H/V. Si può pertanto risalire alla stima della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s a partire da misure HVSR se è nota da prove dirette (sondaggi, penetrometrie, ecc.) la profondità dello strato che determina il contrasto di impedenza o del bedrock. Viceversa, si può valutare la profondità del bedrock e/o delle discontinuità sismiche (e perciò anche litostratigrafiche) se si conosce il valore di V_s dei terreni sovrastanti (es. da down-hole, MASW, ecc.) anche riferito, nel caso di contrasti di impedenza superficiali, a profondità di pochi metri. La profondità d'investigazione dell'indagine HVSR è di alcune centinaia di metri, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. La possibilità di interpretare i massimi della funzione H/V in termini di risonanza dello strato superficiale dipende dalla validità delle assunzioni di base, ovvero:

1. che il rumore sia generato da molte sorgenti distribuite casualmente attorno al punto di misura;
2. che la serie dei valori del rapporto spettrale abbia carattere stazionario;
3. che gli eventi massimi H/V siano quelli dedotti dal rumore sismico e non da interferenze spurie (rumore elettromagnetico, movimenti dello strumento di misura oppure a causa del vento).

Nel 2005 il progetto SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations) stabilì una serie di criteri per la valutazione della significatività statistica dei picchi H/V. La prima parte di questi criteri, individuata la frequenza del picco di risonanza, verifica se la registrazione è stata effettuata per un periodo statisticamente significativo e se l'analisi è stata base della statistica. La seconda parte di questi analizza la geometria del picco e dice semplicemente se il picco ha una forma ben definita. Il fatto che i criteri SESAME siano rispettati non implica necessariamente che il risultato sia aderente alla situazione reale, né che l'acquisizione sia stata eseguita correttamente. D'altro canto, quando i criteri non sono rispettati non si può concludere immediatamente che l'acquisizione o l'elaborazione siano errate, ma la curva ottenuta potrebbe semplicemente stare ad indicare, a titolo esemplificativo, un terreno omogeneo e compatto che non dà luogo a fenomeni di amplificazione. I criteri quindi indicano se la curva contiene o meno elementi significativi dal punto di vista geofisico, ma possono dire poco sulla sua correttezza e coerenza.

Il calcolo del rapporto H/V segue queste fasi:

1. registrazione del segnale ambientale nelle 3 componenti;
2. scomposizione del segnale in finestre temporali, con l'obiettivo di isolare le parti della registrazione in cui il segnale risulta maggiormente stazionario ed eliminare i rumori transitori, o transienti;
3. calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate su tutte e tre le componenti;
4. combinazione, con un'operazione di media, delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre selezionate;
5. calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
6. calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre, che rappresenterà la curva H/V definitiva.

L'indagine è stata effettuata con strumentazione SR04 GEOBOX 4,5 Hz (n. di serie 3190) prodotto da SARA electronic instruments S.r.l. di Perugia (PG), un digitalizzatore a 24 bit tre canali ad altissima risoluzione, con sensori e batterie interne, gestito da computer esterno. Il software di acquisizione utilizzato è SISMOWIN, mentre quello di elaborazione dei dati è GEOEXPLORER HVSR (Nr. Matricola 0249/2019), entrambi prodotti da SARA electronic instruments S.r.l.

STATION INFORMATION

Station code: -

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 1810

Address: C. Servetta - Casina (RE)

Latitude: 45,5122

Longitude: 10,4909

Coordinate system: WGS84

Elevation: 560 m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2021/09/11 11:15:16

Recording length: 20 min

Windows count: 8

Average windows length: 120

Signal coverage: 80%

884 Counts

CHANNEL #1 [V]



-834 Counts

3463 Counts

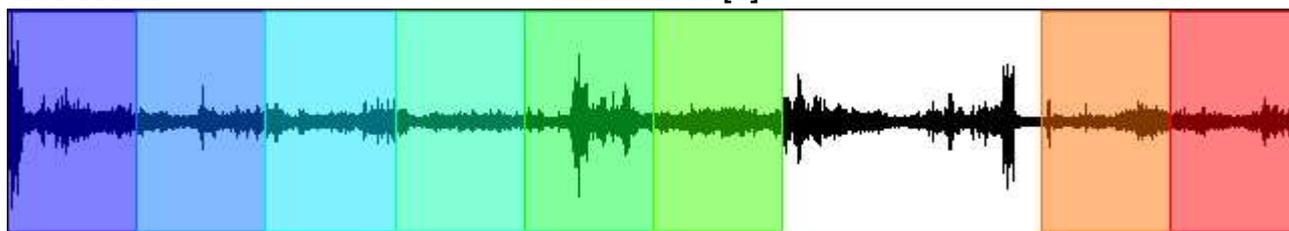
CHANNEL #2 [N]



-3499 Counts

4018 Counts

CHANNEL #3 [E]



-3160 Counts

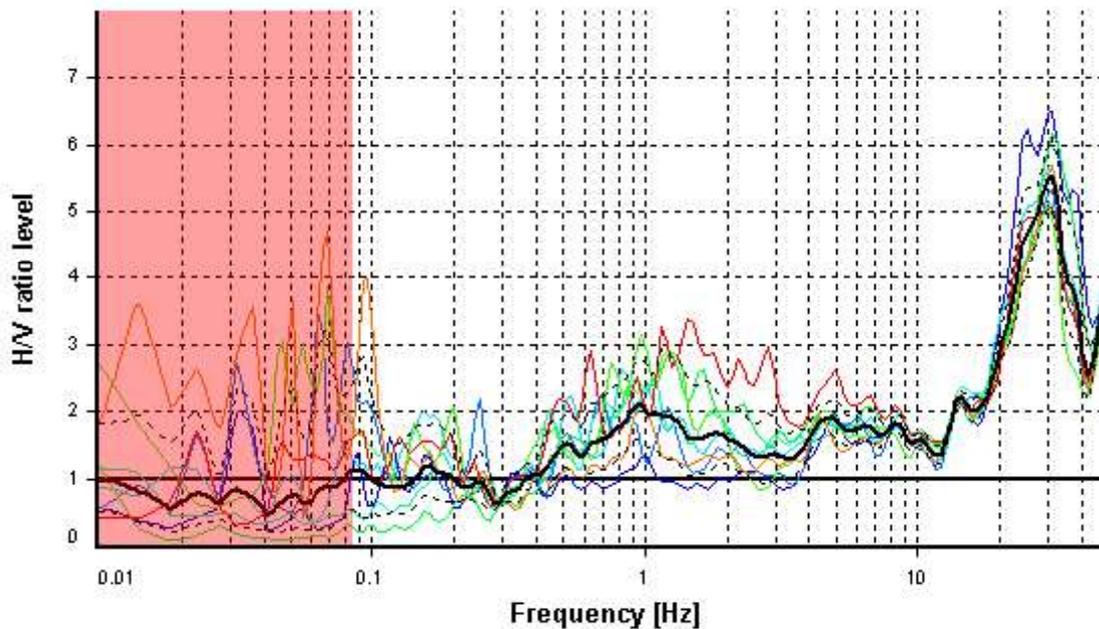
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

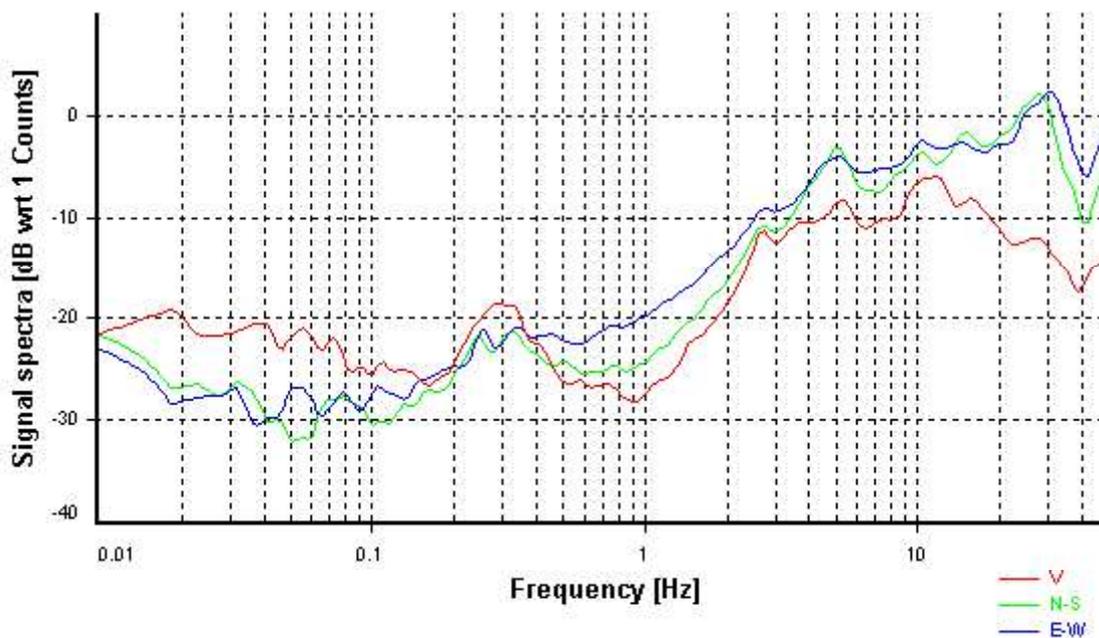
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

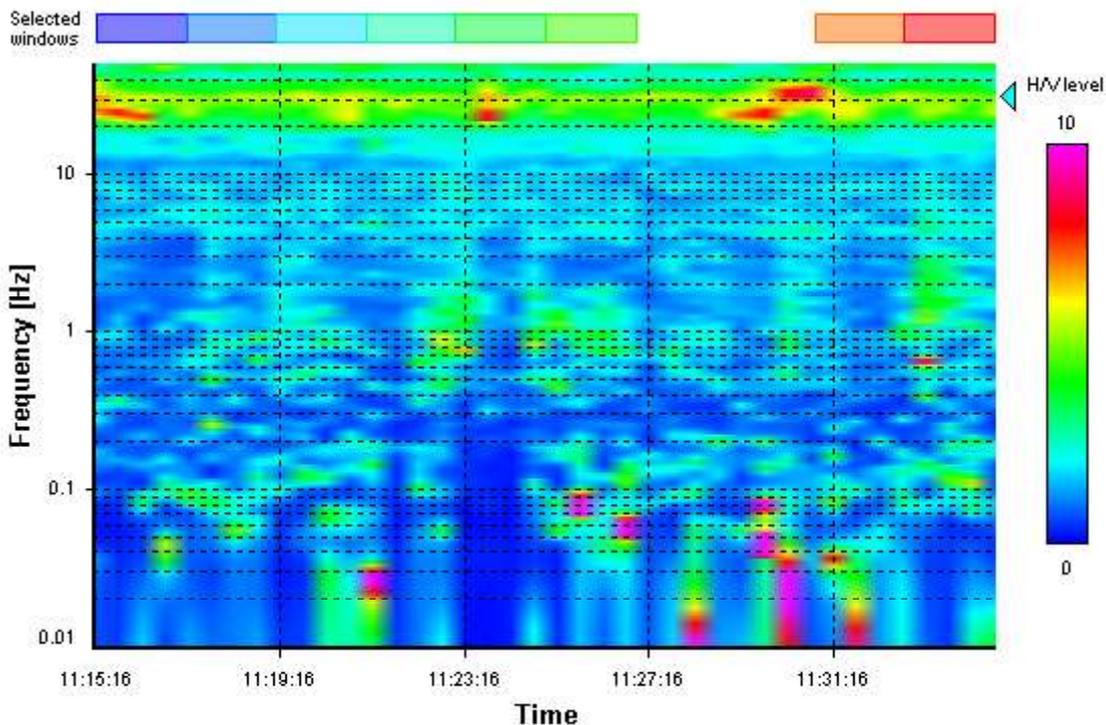
HVSR average



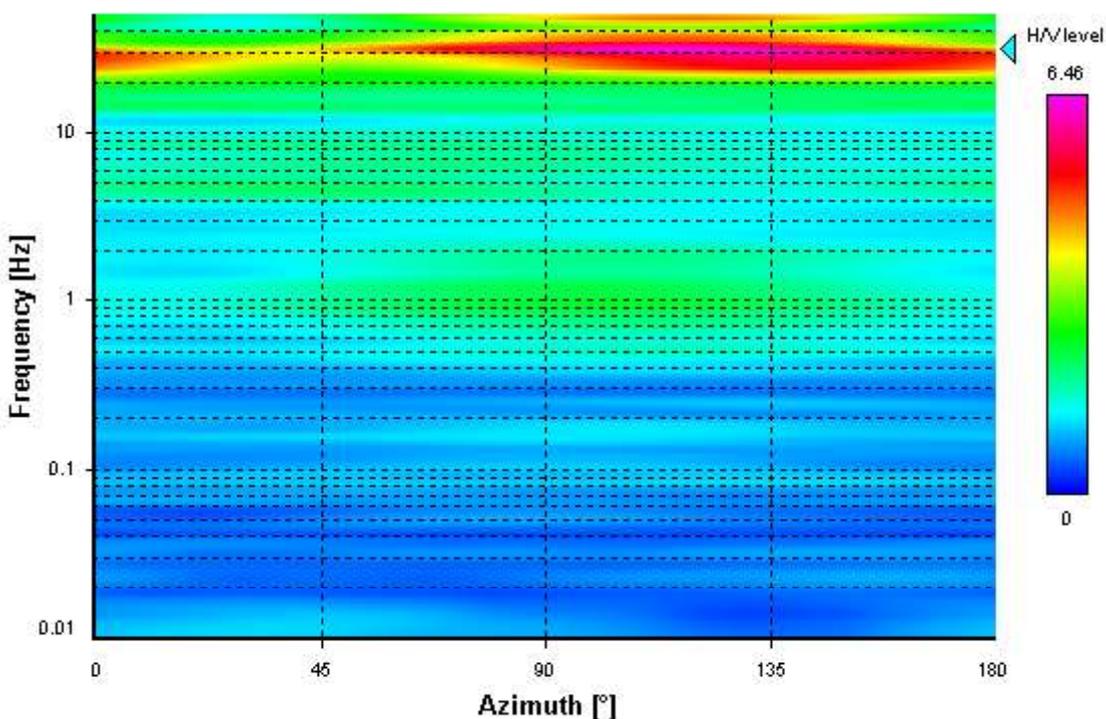
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



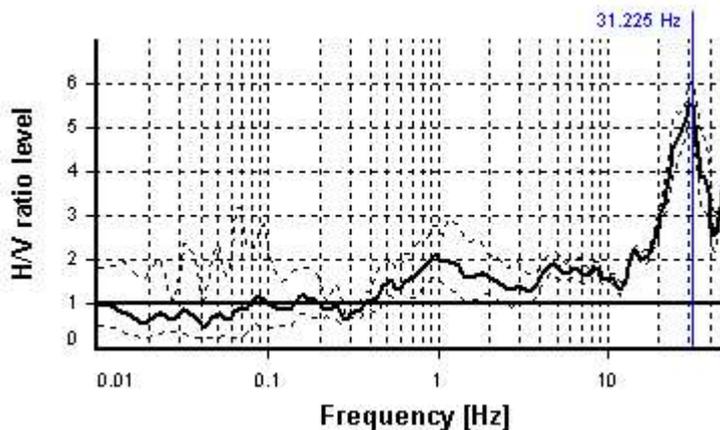
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

31.225 Hz

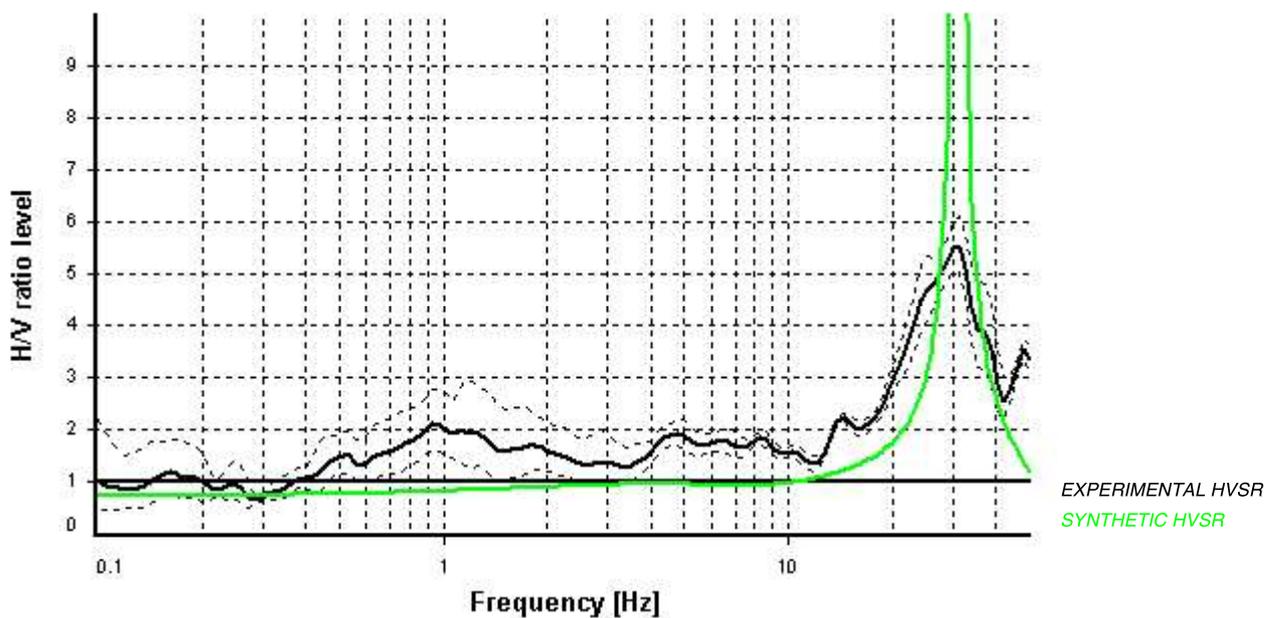
A_0 amplitude = 5.538

Average $f_0 = 30.898 \pm 0.606$

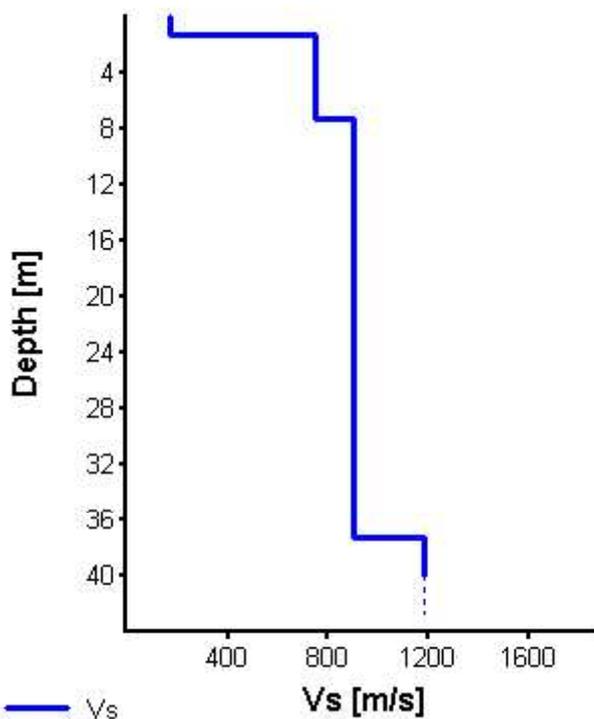


HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	8 valid windows (length > 0.32 s) out of 8	OK
$n_c(f_0) > 200$	29976.13 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 28	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	19.50018 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	42.13266 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.54 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.19% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.6056 < 1.56126	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1032 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Synthetic HVSR modelling



H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
1.3	1.3	1214	170	1900
6	7.3	1551	745	2050
30	37.3	1693	905	2150
-	> 37.3	1935	1185	2200



Vs_{eq} 7.3 = 465 m/s (Offset = 0 m)

ALLEGATO 1

Indagine geofisica tramite tecnica MASW

**GHOSTUDIO Geologi Associati
di Merlini - Monelli - Mattioli**

C.F.: 01670340353
P.IVA: 01670340353

Via C. Franceschini, 26
42035 Castelnovo ne' Monti (RE)

Tel: 0522 811948
Fax: 0522 811948
e-mail: gstdmmm@libero.it

Data prova: 11 settembre 2021 ore 10.30

Committente: **Sig. VALLI Maurizio**

Cantiere: **C. Servetta – Via Dante Alighieri**

Località: **Comune di Casina (RE)**

Il Tecnico: **Geol. Federico Mattioli**

Indice

Masw	2
Strumentazione adottata	3
Tracce	3
Analisi spettrale	4
Curva di dispersione	5
Inversione	6
Profilo di velocità	7
Risultati	7
Sismostratigrafia e funzione di trasferimento	8

MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Strumentazione adottata

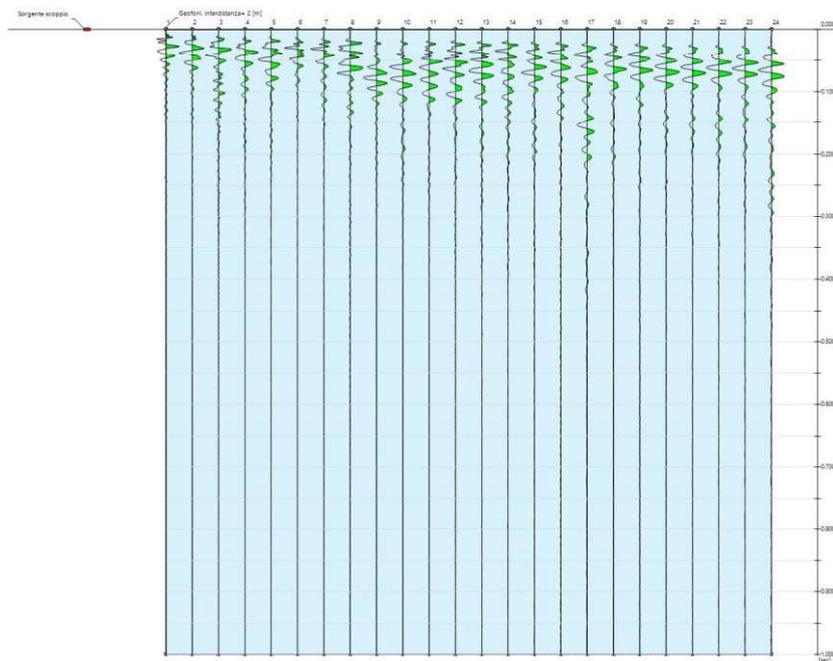
L'indagine è stata effettuata tramite sismografo 24 canali prodotto dalla ditta Ambrogeo di Piacenza (ECHO 24/2002 Sismic Unit a 16 bit), gestito da computer, avente le seguenti caratteristiche principali:

- 24 canali a registrazione separata. Registrazione separata dei canali anche su computer
- Intervallo campionatore a 0,296 ms
- Trattamento segnale a 16 bit
- Tempi di acquisizione da 25 ms a 30 s
- Campionamento a 131 μ s

È stato effettuato uno stendimento con 24 geofoni da 4,5 Hz distanziati di due metri e battuta a 5 m dal primo geofono. Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il programma Esay Masw della Geostru.

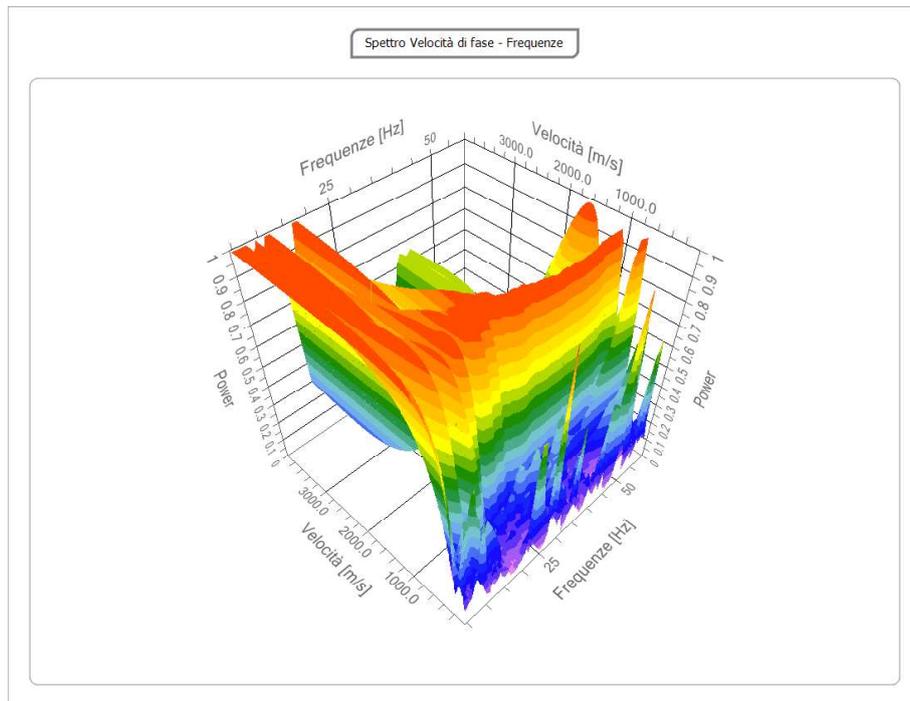
Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1002.3
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131



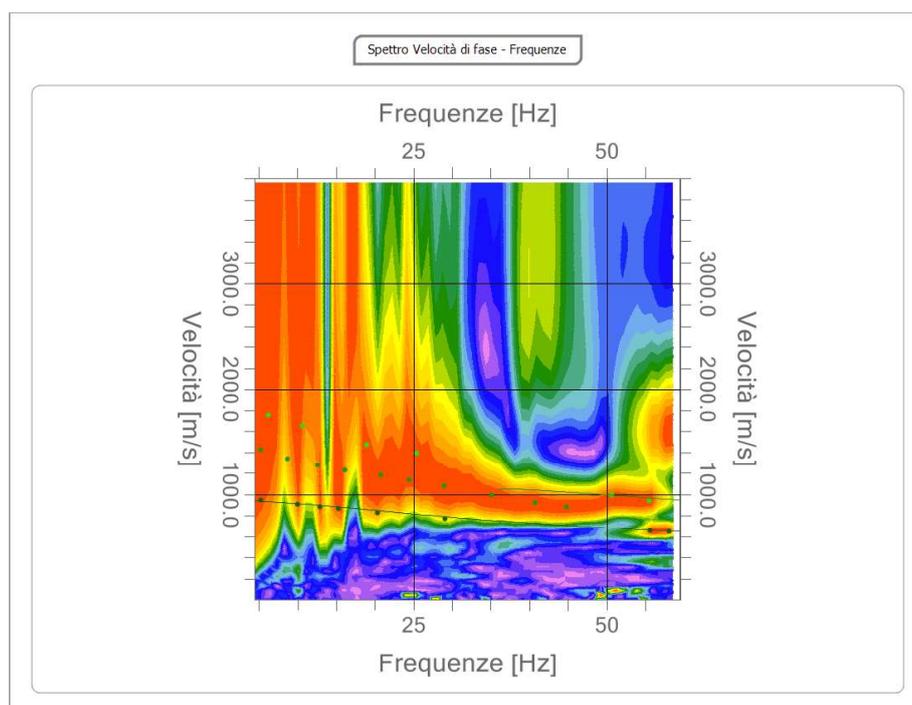
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	4.5
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	4000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.3	1422.5	1
2	5.3	945.3	0
3	6.2	1754.7	2
4	8.7	1341.0	1
5	10.0	908.5	0
6	10.7	1648.4	2
7	12.6	1272.1	1
8	12.9	879.9	0
9	15.3	863.6	0
10	16.1	1225.1	1
11	18.9	1472.7	2
12	20.4	826.8	0
13	20.7	1178.1	1
14	24.4	1137.4	1
15	25.5	1395.0	2
16	29.0	1081.0	1
17	29.1	773.6	0
18	35.1	990.1	1
19	40.7	921.2	1
20	44.9	886.7	1
21	50.7	994.4	2
22	55.5	937.1	2
23	55.6	655.1	0
24	58.1	651.0	0



Inversione

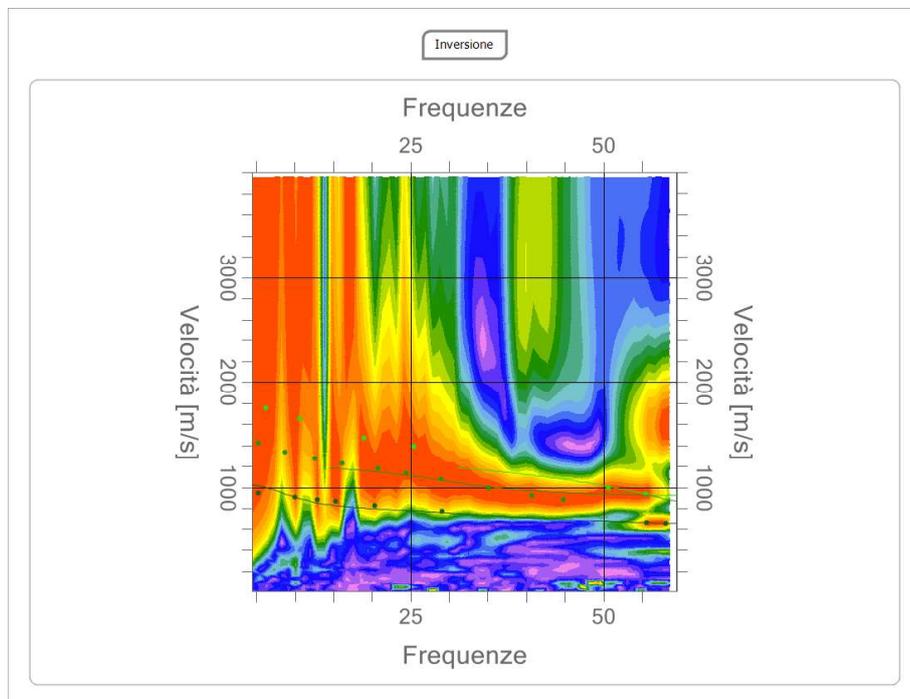
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.30	1.30	1900.0	0.45	No	918.5	276.9
2		7.30	6.00	2050.0	0.35	No	1553.7	746.4
3		17.26	9.96	2100.0	0.30	No	1693.8	905.4
4		37.22	19.96	2150.0	0.30	No	1691.6	904.2
5		oo	oo	2200.0	0.25	No	2050.9	1184.1

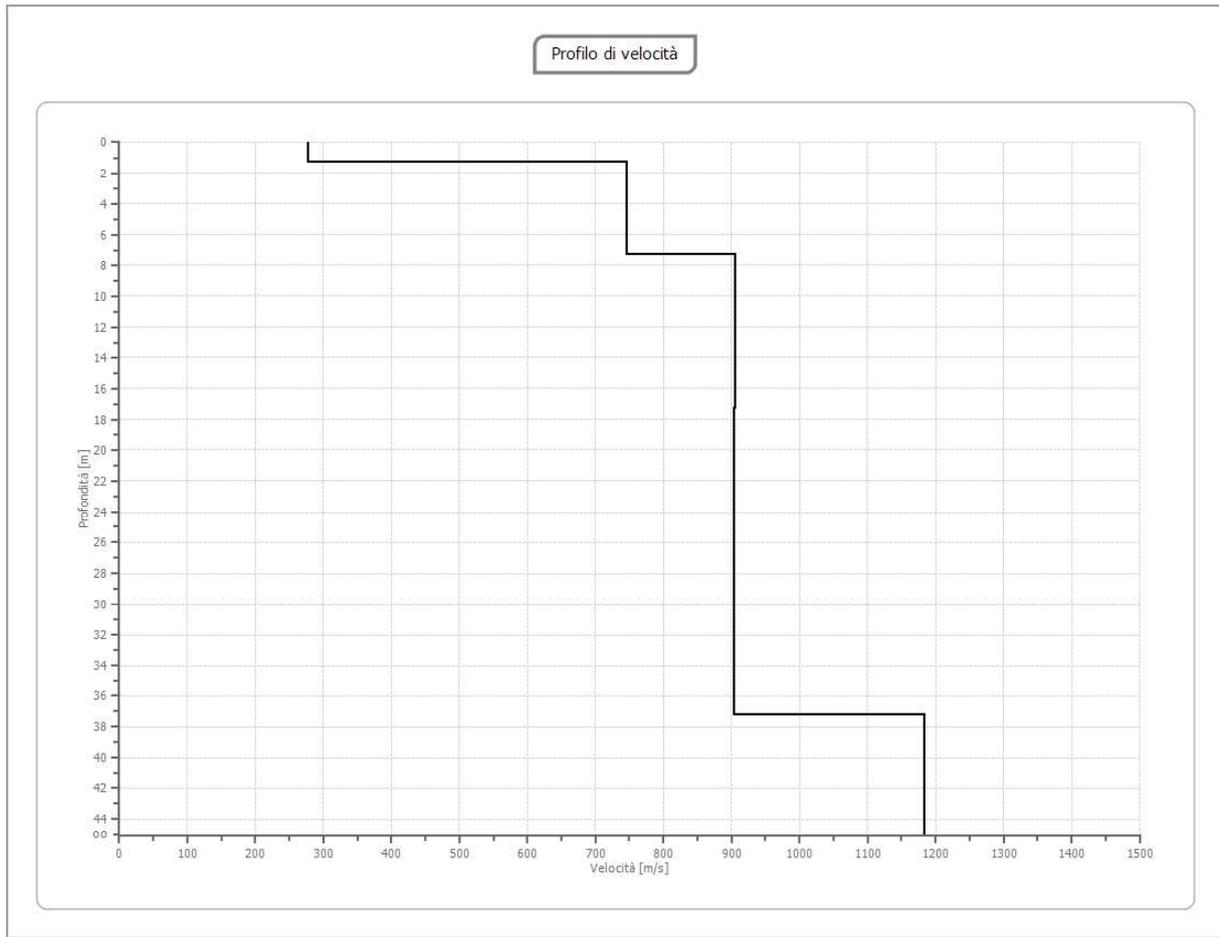
Percentuale di errore

0.124 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.281



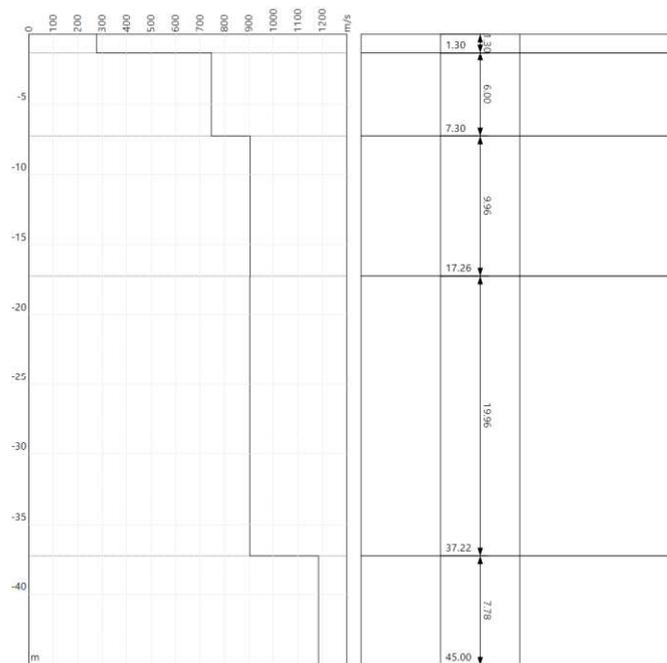


Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=7.30 m)	573.24
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo 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.

Sismostratigrafia



Funzione di trasferimento

