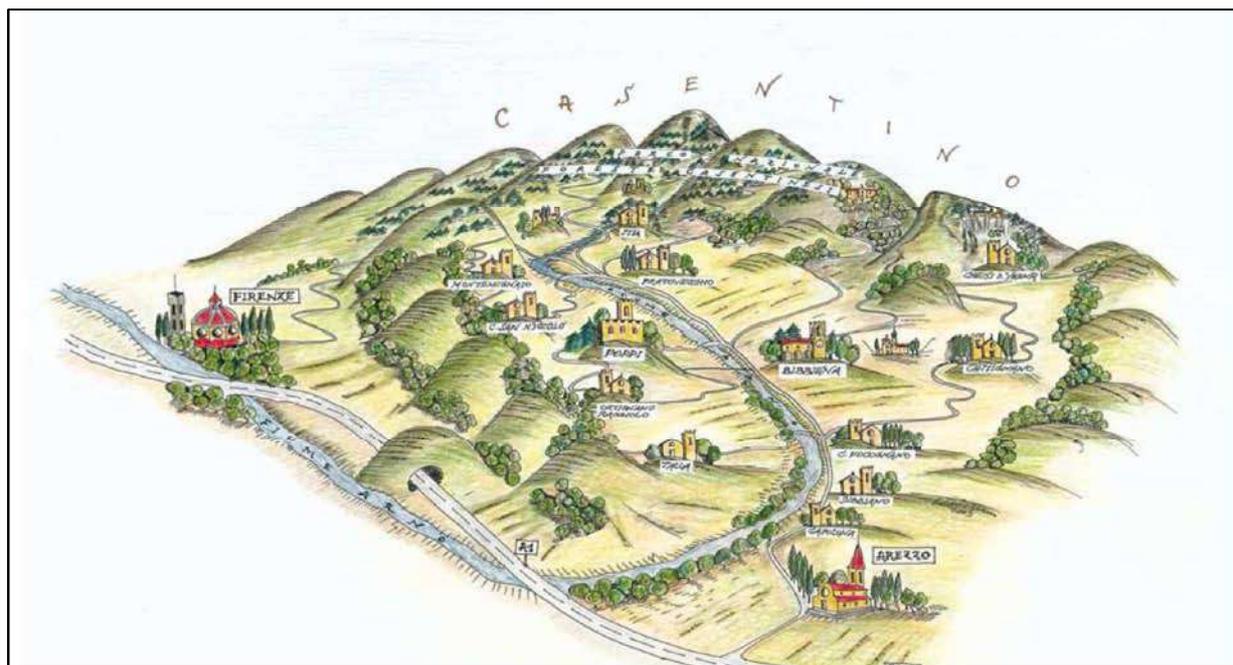


# UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO



AREA TECNICA Via Roma, 203 - 52014 Ponte a Poppi (AR)

## SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA - TRATTO FIUME ARNO CASENTINO 2° STRALCIO - LOTTO 3



### PROGETTO DEFINITIVO

Allegato n°

**B.01**

RELAZIONI SPECIALISTICHE

RELAZIONE GEOLOGICA

RTP:



Via D. TURAZZA, 48/D - 35128 PADOVA  
Tel. 049/8715216 - Fax 049/8079157 E-mail: [esiaing@tin.it](mailto:esiaing@tin.it)  
email: [esseia@esseia.it](mailto:esseia@esseia.it) - pec: [esseia@pec.it](mailto:esseia@pec.it)

**SIA Studio Ingegneria & Architettura**



35128 PADOVA Via D. Turazza, 48 scala D. int. 5-6  
Tel. 049/8715216- Fax 049/8079157 E-mail: [esiaing@tin.it](mailto:esiaing@tin.it)  
31015 CONEGLIANO (TV) Corte delle Rose, 68  
Tel. 0438/411745- Fax 0438/24678 E-mail: [siaprog@tin.it](mailto:siaprog@tin.it)

Progettazione:



Ing. CRISTIAN CONCOLLATO

Coordinamento della progettazione:



Ing. DANILLO TOMASELLA

Pratica: <b>P027-2020_DEF</b>	File: P027-2020_DEF_B-01	Revisione: 00	Data: APRILE 2020	Revisione:	Data:
----------------------------------	-----------------------------	------------------	----------------------	------------	-------

Operatore: Ing. CRISTIAN CONCOLLATO	Verificato: Ing. DANILLO TOMASELLA	Approvato: Ing. DANILLO TOMASELLA	Responsabile del Procedimento: Ing. MAURO CASASOLE
--	---------------------------------------	--------------------------------------	---

**UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**



**PROGETTO DEFINITIVO**

**SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI  
DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA  
TRATTO FIUME ARNO CASENTINO  
2°STRALCIO – LOTTO 3**

***RELAZIONE GEOLOGICA***

## **PREMESSE**

La presente "Relazione Geologica e Geotecnica" si pone a corredo del Progetto Definitivo riguardante la realizzazione di alcuni tratti del percorso ciclopedonale che rappresenta una parte del più ampio progetto "Sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del Sentiero della Bonifica", classificato come opera chiave nell'ambito della rete di interesse regionale individuata dal Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità (P.R.I.I.M.) della Regione Toscana, che trova attuazione nell'accordo di programma fra la stessa Regione Toscana e ANCI Toscana, insieme alla Città Metropolitana di Firenze e alle Province di Arezzo, Pisa e Siena, oltre a tutti i Comuni interessati.

L'intervento in oggetto fa parte di un più ampio progetto di mobilità ciclabile, il cui progetto preliminare complessivo è stato approvato con Deliberazione di Giunta dell'Unione di Comuni Montani del Casentino n. 111 del 21.09.2016, previa approvazione da parte della Conferenza dei Servizi tenutasi in data 28 Giugno 2016.

Nello specifico la realizzazione degli interventi del presente progetto riguarda alcuni collegamenti di tratti di pista già realizzata nel corso del 1° Stralcio e del 2° Stralcio Lotti 1 e 2, nel dettaglio:

- 1) il collegamento con il centro abitato di Strada in Casentino in Comune di Castel San Niccolò;
- 2) il sottopasso della S.P. 64 per Ortignano Raggiolo presso il Ponte di Toppoli in Comune di Bibbiena, quindi, attraversato il torrente Archiano, il collegamento con la rete ciclabile esistente;
- 3) la variante al guado sul torrente Corsalone presso il centro abitato di Corsalone in Comune di Chiusi della Verna;
- 4) il collegamento tra i due tratti in sede propria già realizzati presso il centro abitato di Calbenzano in Comune di Subbiano;
- 5) il collegamento tra Ponte Caliano in Comune di Subbiano e Giovi in Comune di Arezzo in alternativa a percorsi in sede promiscua.

All'interno della generalità delle opere di progetto, è prevista la realizzazione di passerelle a struttura portante in acciaio:

- intervento 6 bis: passerella 1 su Rio Solano in Comune di Castel San Niccolò;
- intervento 15 bis: passerella 2 su Torrente Archiano in Comune di Bibbiena;
- intervento 16 bis: passerella 3 su Torrente Corsalone in Comune di Chiusi della Verna;
- intervento 26: passerella 4 su Fosso del Burlazzo in Comune di Subbiano;

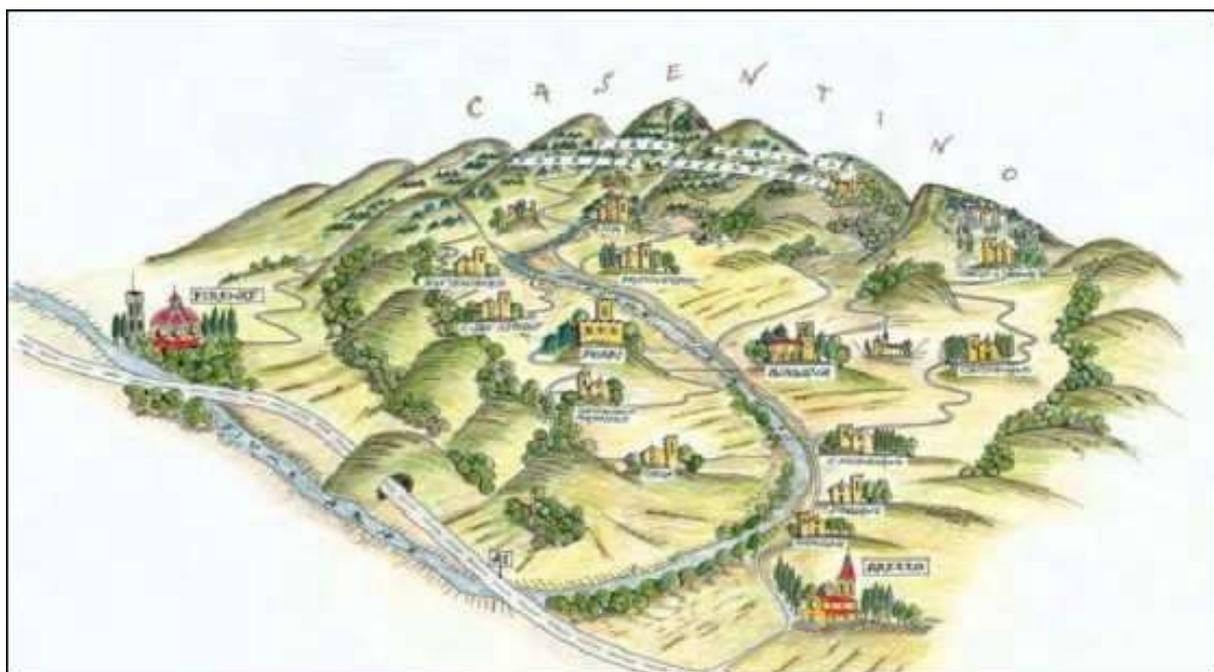
*Si riporta di seguito per completezza di informazione la Relazione Geologica relativa all'intervento in oggetto, redatta nell'ottobre del 2019 dal Dott. Geologo Luigi Farini, iscritto all'Ordine dei Geologi della Toscana al numero 763, su incarico della Stazione Appaltante.*

# UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO

Via Roma, 203 – 52014 – Ponte a Poppi, Poppi (Ar) – [unione.casentino@postacert.toscana.it](mailto:unione.casentino@postacert.toscana.it) - CF/P. IVA: 02095920514



## SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA TRATTO FIUME ARNO CASENTINO 2° STRALCIO – 3° LOTTO



### **PASSERELLA SUL RIO SOLANO**

**Elaborato: Studio geologico tecnico**

data: 05/10/2019



STUDIO GEOLOGICO  
**Dott. LUIGI FARINI**

Via Case Venti, 11b - 52010 - Badia Prataglia (AR)  
Tel. e Fax: 0575 / 594 277 - Cell: 338 / 59 87 380 - E-mail: [farini.luigi@geologi.it](mailto:farini.luigi@geologi.it)  
Codice Fiscale: FRN LGU 67L16A 851G - Partita I.V.A.: 0 1 9 4 5 2 1 0 5 1 4

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	5
2.1	Morfologia.....	5
2.2	Geologia.....	5
2.3	Idrogeologia.....	6
3	GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
3.1	Indagini penetrometriche.....	7
3.2	Perforazione a rotazione con carotaggio continuo.....	8
3.3	Standard Penetration Test – S.P.T.....	8
3.4	Analisi dei campioni.....	8
3.5	Indagini geofisiche.....	9
3.5.1	MASW.....	9
3.5.2	Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR.....	11
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	13
4.1	Caratterizzazione da indagini penetrometriche dinamiche.....	13
4.1.1	Peso unità di volume.....	14
4.1.2	Angolo di resistenza al taglio $\varphi$ .....	14
4.1.3	Coesione non drenata $C_u$ .....	14
4.1.4	Modulo edometrico $E_d$ .....	14
4.2	R.Q.D. (Rock Quality Designation).....	14
4.3	Resistenza alla compressione monoassiale della roccia.....	15



4.4	Angolo d'attrito e coesione dell'ammasso.....	15
4.4.1	Classificazione di Bieniawski.....	15
4.4.2	Criterio di rottura di Hoek-Brown.....	17
4.5	Determinazione parametri caratteristici e di progetto.....	18
5	CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO.....	20
5.1	Vita Nominale della Struttura (VN) (§ 2.4.1 NTC-18).....	20
5.2	Classi d'Uso (CU) (§ 2.4.2 NTC-18).....	21
5.3	Periodo di Riferimento (VR) (§ 2.4.3 NTC-18).....	21
5.4	Stati Limite e Probabilità di Superamento (§ 3.2.1 NTC-18).....	21
5.5	Definizione del Periodo di Ritorno (§ 3.2.1 NTC-18).....	22
5.6	Classificazione Topografica del Sito (§ 3.2.2 NTC-18).....	22
5.7	Determinazione delle Categoria di Sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-18).....	23
5.8	Frequenza di sito.....	25
5.9	Sismicità di Riferimento su Suolo Standard.....	25
5.10	Definizione della Pericolosità Sismica di Base (§3.2 NTC-18).....	25
6	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	26
6.1	Parametri sismici.....	27
6.2	Coefficienti Sismici.....	27
7	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-18).....	28
8	REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI.....	28
9	CONCLUSIONI.....	29



## 1 PREMESSA

La presente relazione costituisce il supporto geologico al progetto dei lavori di realizzazione di realizzazione del “Sistema Integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del Sentiero della Bonifica tratto Fiume Arno Casentino 2° stralcio – 3° lotto” per la passerella sul Rio Solano in Comune di Castel San Niccolò – AR.

L'area, secondo il Piano Strutturale è classificata: **Pericolosità Geomorfologica G3. “Pericolosità Geomorfologica media”** (Tav. 6), la **Pericolosità Idraulica I.4 “Pericolosità Idraulica molto elevata”** (Tav. 7). La pericolosità di frana secondo il P.A.I. - Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno, è in area non classificata, mentre il rischio di alluvioni secondo il P.G.R.A. - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Fiume Arno, risulta a pericolosità **P.3 Pericolosità Ellevata, per alluvioni frequenti** (TAV. 8).

Le relative fattibilità, riportate in Tav. 9, assegna la fattibilità per area vicina, relativa al depuratore, pertanto le classi di fattibilità sono assegnate tramite la tabella allegata al Regolamento Urbanistico riportata in TAV. 10, che indica: **Fattibilità Geomorfologica F3: “Fattibilità condizionata”**; la **Fattibilità Idraulica F4 “Fattibilità limitata”**.

Il presente lavoro è svolto in conformità alle norme vigenti:

- *Decreto Ministeriale 14.01.2008 - Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni*
- *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008*

Inoltre ai sensi della nuova DPGR n. 36/R del 9/07/2009 (Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza delle opere e delle costruzioni nelle zone soggette a rischio sismico - Pubblicato sul BURT n. 25 del 17/07/2009), per questo tipo d'intervento non ci sono indicazioni particolare, pertanto come indicato per gli studi geologici delle passerelle del I° lotto, viene considerata per questo tipo di lavoro la classe di indagine n. 3, nella quale, *...la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante indagini geofisiche, quali quelle sismiche a rifrazione o riflessione, eseguite nel sito oggetto di studio. In presenza di problematiche di versante sono altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio basate su sondaggi geognostici. La definizione dei parametri geotecnici è basata su sondaggi geognostici.*



Tavole allegate alla relazione:

<i>Tavola</i>	<i>Scala</i>
Certificati indagini geognostiche	--
1. Inquadramento topografico	1 : 10.000
2. Carta geologica	1 : 5.000
3. Planimetria intervento con ubicazione indagini	1 : 500
4. Sezione geotecnica	1 : 200
5. Carta idrogeologica del Piano Strutturale	--
6. Carta pericolosità geologica del Piano Strutturale	--
7. Carta pericolosità idraulica del Piano Strutturale	--
8. Carta estratto PAI - pericolosità di frana e PGRA pericolosità alluvioni	--
9. Carta fattibilità RU Comune Castel San Niccolò	--
10. Tabella assegnazione classe di fattibilità Comune Castel San Niccolò	--

## 2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.

Il sito in esame è posto lungo il corso del Rio Solano, ad una quota di circa 366 m s.l.m., vicino alla confluenza tra quest'ultimo con il Torrente Solano (TAV. 1 e 2) .

### 2.1 MORFOLOGIA

La zona è un'area di fondovalle, modificato principalmente dall'azione antropica; l'area è pianeggiante con pendenze inferiori al 5%.

Dai sopralluoghi svolti attorno all'area d'intervento, hanno evidenziato l'assenza sul territorio circostante di indizi che possano essere riferibili alla presenza di fenomeni geologici attivi o quiescenti pericolosi per l'intervento stesso.

Le caratteristiche morfologiche, ricavate da osservazioni di campagna, hanno evidenziato la notevole antropizzazione del territorio circostante la zona oggetto di studio, con la presenza di strade e opere idrauliche.

### 2.2 GEOLOGIA

Geologicamente, la zona studiata è rappresentata dai **DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI** (Olocene, depositi recenti di ambiente fluviale, costituiti da litotipi a granulometria generalmente grossolana. Dal punto di vista litologico, sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli arenacei con sabbie e limi). I terreni affioranti nel resto dello stralcio cartografico allegato sono rappresentati da: **ARGILLE E CALCARI DI CANETOLO** (Eocene medio e sup., Consistono di argilliti, argilliti siltose e siltiti grigie e avana con frequenti intercalazioni decimetriche di arenarie calcarifere a grana fine e, in minor quantità, di calcareniti e calcilutiti grigie) e **ARENARIE DEL MONTE FALTERONA** (Acquitaniiano-



Langhiano, torbiditi arenacee medio grossolane in strati di oltre 100 cm., alternate ad interstrati siltoso marnosi molto esigui).

### 2.3 IDROGEOLOGIA

Durante le indagini geognostiche non è stata rilevata presenza di falda acquifera. La carta idrogeologica (TAV. 5) indica la presenza di vari pozzi; dalla carta piezometrica è possibile rilevare la soggiacenza della falda acquifera che è attorno ai 362 m. s.l.m., che pone la falda a circa 4,00 ÷ 4,50 m. da piano campagna.

Dall'andamento delle isopieze della carta idrogeologica, risulta che la falda acquifera nel sottosuolo locale è drenata dal Rio Solano.

## 3 GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche commissionate da Unione dei Comuni del Casentino e coordinate dal sottoscritto quale Direttore Lavori delle stesse, sono state eseguite sui due fianchi del Rio Solano come indicato in TAV. 3. Tali indagini hanno avuto lo scopo di evidenziare, assieme ai rilievi geomorfologico sul territorio, le caratteristiche dei terreni presenti del sito di studio in modo da rilevarne le possibili complicazioni di natura geologica e geotecnica e sismica e poter fornire dati utili per la loro progettazione. Le indagini utilizzate per redigere il presente studio sono le seguenti:

- **indagini penetrometriche** : n. 2 prove penetrometriche eseguite con metodologia dinamica superpesante DPSH estese sino alla profondità alla quale è stata rilevato rifiuto all'infissione.
- **Perforazione a rotazione con carotaggio continuo**: n. 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi entrambi 20,0 (S1 e S2), svolti ciascuno sulle sponde del Rio Solano. Per ottenere ulteriori dati geotecnici sui terreni attraversati, durante i sondaggi sono state eseguite n. 6 Standard Penetration Test (S.P.T.) e prelevati prelevati n. 6 campioni rimaneggiati entro le argilliti ed i calcari del substrato locale.
- **Analisi geotecniche sui campioni prelevati**: Sui campioni di terra, sono state eseguite le seguenti analisi: caratteristiche fisiche dei terreni, analisi granulometrica, limiti di Atterberg, prova di taglio diretto consolidata-drenata. Sui campioni di roccia : prova a compressione uniassiale e Point Load Test
- **indagini geofisiche**: n. 2 prospezioni geofisiche di sismica attiva con metodologia MASW; n. 2 postazioni di



sismica passiva con metodologia HVSR.

Questo tipo di indagine geognostica ha permesso una caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni presenti, dalla quale ricavare:

1. una buona definizione degli orizzonti con qualità geologiche e geotecniche complessivamente differenti
2. una buona definizione delle condizioni reologiche del terreno.

Le prove penetrometriche DPSH e SPT, hanno avuto lo scopo di caratterizzare, dal punto di vista geotecnico, i terreni sciolti di copertura al substrato. Queste indagini, in associazione con le indagini geofisiche hanno permesso la definizione di un modello geotecnico e sismico del sottosuolo dove sorgerà la passerella. Si è potuto ricavare pertanto, con sufficiente definizione la sequenza stratigrafica locale, che ha permesso di discretizzare orizzonti con differenti caratteristiche fisico-meccaniche.

L'indagine MASW in associazione con HVSR sono state utilizzate per specificare la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro  $V_{s,eq}$ . Le informazioni rilevate dalle analisi di rumore ambientale con l'HVSR, hanno avuto lo scopo, oltre che di definire le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

### 3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE

I risultati delle verticali penetrometriche sono stati utilizzati per raccogliere indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati e definirne di conseguenza la successione litotecnica locale. L'ubicazione delle prove penetrometriche è riportata in TAV. 3.

La strumentazione utilizzata per eseguire la prova DPSH è sempre il penetrometro dinamico PAGANI TG 63-200, questa volta attrezzato in accordo con le normative internazionali (ISSMFE) ha le seguenti caratteristiche tecniche:

<i>peso massa battente: 63.5 Kg.</i>	<i>altezza di caduta: 75.0 cm.</i>	<i>area di base punta conica: 20 cmq.</i>
<i>angolo apertura punta conica: AGI 90°</i>	<i>peso asta 7 Kg / ml</i>	<i>diametro della punta conica 50,50 mm</i>
<i>avanzamento punta: 20 cm</i>	<i>Lunghezza aste: 1.00 m.</i>	<i>Peso sistema di battuta: 30 Kg</i>

La prova dinamica superpesante consiste nel misurare il numero di colpi N necessari per far avanzare di 20 cm nel terreno la punta conica.



### 3.2 *PERFORAZIONE A ROTAZIONE CON CAROTAGGIO CONTINUO*

Il sondaggio geotecnico è consistito nella perforazione a carotaggio continuo in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati. Durante tali operazioni, oltre l'estrazione di carote per il riconoscimento della litostratigrafia dei terreni sono stati prelevati campioni rimaneggiati; su quest'ultimi saranno eseguite delle analisi di laboratorio geotecnico. Inoltre entro il foro di sondaggio sono state eseguite prove geotecniche tipo SPT.

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una sonda con testa idraulica di rotazione alla quale sono collegate delle aste di perforazione sulla cui cima è alloggiato un utensile di perforazione (carotiere). Al fine di evitare il franamento del foro tra una manovra di carotaggio e l'altra, nel caso in cui il terreno non si auto sosteneva, è stato usato del rivestimento metallico provvisorio.

### 3.3 *STANDARD PENETRATION TEST – S.P.T.*

È una prova discontinua, realizzata nel foro durante l'esecuzione dei carotaggi. Tale prova viene eseguita nel foro preventivamente ripulito, e consiste nella infissione a percussione, di un campionatore a punta aperta con pareti grosse (campionatore Raymond) o come nel caso dei sondaggi S1 ed S2, vista la tipologia dei terreni, è stata montata sul campionatore una punta chiusa. Tutto il sistema di prova ha le seguenti caratteristiche: diametro esterno di 51 mm; il dispositivo di percussione comprende una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste, un maglio di acciaio di 63.5 kg (140 libbre), un sistema di guida e sganciamento automatico del maglio che assicura una corsa a caduta libera fissa pari a 0.76 m (30 pollici). Con questa prova vengono registrati i colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT) del campionatore. Durante l'infissione infatti, si registrano i colpi necessari a produrre l'avanzamento totale di 45 cm.

### 3.4 *ANALISI DEI CAMPIONI*

Nel corso della perforazione di sondaggio sono stati prelevati dei campioni di terreno, per sottoporli successivamente ad analisi e prove di laboratorio al fine di determinarne i parametri geotecnici. Le analisi eseguite sono:

- Umidità naturale, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-1,
- Peso di volume naturale, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-2,
- Determinazione dei limiti di Atterberg, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-12,



- Analisi granulometrica, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-4
- Prova di taglio diretto CD, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-10,

Per le prove sulle rocce sono state eseguite le seguenti analisi:

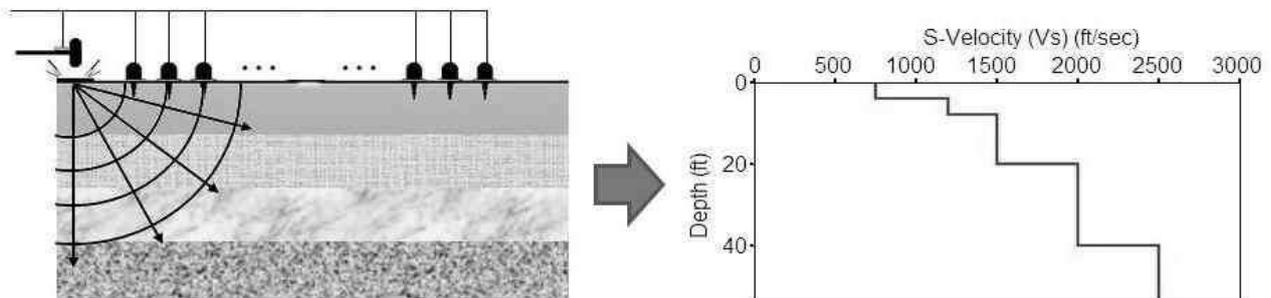
- Peso di volume naturale, secondo la norma Boll. Uff. CNR n. 40
- Prova a compressione uniassiale, secondo la norma ASTM 2938-95
- Point Load Test, secondo la norma ASTM D 5731-95

I dettagli delle analisi sono riportati nei certificati prodotti dal Laboratorio IGETECMA s.n.c. ed allegati alla presente relazione.

### 3.5 INDAGINI GEOFISICHE

#### 3.5.1 MASW

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una metodologia non invasiva, basata su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999). Tale metodologia di prospezione geofisica del sottosuolo, consente di ottenere un profilo verticale delle Vs, a partire dall'analisi della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh, analizzando anche le modalità di propagazione e la loro velocità a diverse frequenze.



Le onde di Rayleigh, viaggiano con una velocità diversa correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalle onde stesse. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase; questa proprietà è definita come dispersione. È proprio questa proprietà dispersiva che viene utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e interessano gli strati più profondi del suolo. La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio Vs e

dalla frequenza. Quindi onde di Rayleigh di diversa lunghezza d'onda forniscono informazioni a diverse profondità del sito investigato.

Le dati sulla velocità delle onde di taglio  $V_s$  rilevate in sito, sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità d'investigazione.

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase sperimentale, detta curva di dispersione apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte più superficiale del suolo; in genere sui primi 30 m. ÷ 50 m. variabili in funzione della rigidità del suolo. La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che le onde S sono parametri di prim'ordine nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Tali onde, campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda stessa e la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato; la forma di questa curva è sostanzialmente influenzata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Perciò, utilizzando apposite convenzioni è possibile stabilire una relazione diretta, ma analiticamente complessa, fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. La relazione che ne consegue, consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità", che fondamentalmente sono rappresentati come Modello Medio e Modello Migliore; utilizzati poi per giungere alla definizione degli spessori di terreno a diversa  $V_s$ .

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
2. calcolare della velocità di fase apparente numerica,
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo



spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Galileo Geofisica ed allegati alla presente relazione.

### 3.5.2 *Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR*

Tale indagine geofisica è molto rapida nell'esecuzione e può essere applicata praticamente ovunque. Il suo vantaggio è che non necessita perforazioni nel sottosuolo, stendimento di cavi ed energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.

Questo metodo d'investigazione costituisce una parte importante nella determinazione del rischio sismico di un sito in quanto permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza del sito. Quest'ultima rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale. Il valore di questo parametro dovrà essere tenuto presente nella realizzazione di nuove strutture, infatti queste non dovranno avere la medesima frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", molto pericolose in caso di sisma.

Ciò che viene registrato con questa indagine sono le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) che sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  mm (Okada, 2003). Rispetto alle frequenze di queste vibrazioni, il rumore sismico che viene registrato, è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze, in genere maggiori di 0.5 Hz.

L'origine di questo rumore sismico sono molteplici come ad esempio le perturbazioni atmosferiche, l'energia data da onde del mare che si propagano sul terreno, le sorgenti di origine antropica come il traffico veicolare, le attività industriali etc. Tutte queste sorgenti, fanno che si generino delle onde superficiali di Rayleigh le quali poi si propagano nel terreno.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di



amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- *Spettri di Fourier*
- *Rapporti spettrali*
- *Rapporti spettrali H/V*

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW ) e della componente verticale V.

Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate su singola stazione posta sul terreno. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi ('71) e Shiono et al. ('79), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza, per un determinato sito, si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale dei terreni presenti sul luogo oggetto di studio.

Nel 1989, Nakamura propose il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri :

- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;*
- ✓ *la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$  e della densità e quindi delle velocità  $V_{s30}$  nei primi 30 m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;*
- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare;*

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Galileo Geofisica ed allegati alla presente



relazione.

#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

In riferimento alle prove penetrometriche dinamiche (DPSH e SPT), si è proceduto all'elaborazione dei dati acquisiti per giungere alla definizione dei parametri geotecnici, i quali sono stati integrati dalle risultanze delle analisi di laboratorio geotecnico e dalle stratigrafie rilevate durante i sondaggi.

Per le prove dinamiche, in base al numero di colpi N registrati, si sono definiti tramite correlazioni, i parametri geotecnici attinenti ad ogni strato identificato con tale tipo d'indagine.

Dalle indagini svolte a seconda delle profondità investigate, sono stati discretizzati, cinque orizzonti geotecnici differenti. Per ciascun orizzonte, sono state definite le peculiarità geotecniche utili alla progettazione.

##### 4.1 CARATTERIZZAZIONE DA INDAGINI PENETROMETRICHE DINAMICHE

L'elaborazione dei dati ottenuti nella verticale penetrometrica dinamiche, ha visto la conversione da  $N_{DPSH}$  a  $N_{SPT}$ ; per far questo sono ricorso al metodo proposto da La Croix e Horn (1973):

$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N_{DPSH}$$

dove:  
 W = peso del maglio  
 H = altezza di caduta  
 D = diametro del cono  
 L = penetrazione standard  
 $N_{DPSH}$  = numero colpi misurato nella prova

Successivamente ho provveduto alla normalizzazione del dato  $N_{SPT}$ , da questo al suo valore normalizzato  $N_{60}$  come definito da norma europea EN ISO 22476-3:2002 che prevede:

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_R$$

dove

$N_{SPT}$  = numero colpi SPT

$C_E$  = correzione del rapporto di energia altezza di caduta con  $C_E = \frac{E_R}{60}$  ed  $E_R$  è il rendimento di battitura della norma ASTM 4633-86

$C_R$  = correzione per la lunghezza delle aste

Il valore ottenuto è stato a sua volta normalizzato per la pressione litostatica con la formula:

$$N_{1(60)} = C_N \cdot N_{60}$$



dove  $C_N$  è il coefficiente di Liao e Whitman (1986) determinato con:  $C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$

#### 4.1.1 *Peso unità di volume*

Determinata con una relazione polinomiale messa a punto da Bruschi A. (1980)

$$\gamma = 98,1 (1,39 + 0,053 N_{60} - 0,0011 N_{60}^2 + 0,0000076 N_{60}^3)$$

#### 4.1.2 *Angolo di resistenza al taglio $\varphi$*

Il valore dell'angolo di attrito è stato determinato tramite la formula indicata da Hatanaka e Hucida (1996, 1998),

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{1(60)}}$$

di Schmertmann (1975),

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,20 + 20,3 \cdot \frac{\sigma'_v}{98,1}} \right)$$

#### 4.1.3 *Coesione non drenata $c_u$*

Questo parametro geotecnico è stato determinato attraverso la relazione di Terzaghi e Peck (1948)

$$c_u = 6,40 \cdot N_{60}$$

e da Bruschi (2004).

$$c_u = 6,50 \cdot N_{60}$$

#### 4.1.4 *Modulo edometrico $E_d$*

Valutato mediante la correlazione proposta da Mayne e Frost (1988) per terreni incoerenti

$$M = q_c \cdot 10^{(Q-0,0075 \cdot D_R)}$$

e dalla relazione di Schulze e Menzenbach (1961) per terreni a grana fine.

$$M = 8,25 \cdot (q_c - \sigma'_v)$$

#### 4.2 *R.Q.D. (ROCK QUALITY DESIGNATION)*

Il valore del parametro R.Q.D. è definito come la percentuale di recupero di carotaggio in roccia di spezzoni con lunghezza superiore ai 10 cm rispetto alla lunghezza totale perforata.



$$R.Q.D.(%) = \frac{\sum \text{Lunghezza spezzoni} \geq 10 \text{ cm.}}{\text{Lunghezza totale del carotaggio}}$$

Sulla base di tale caratterizzazione è possibile stimare la qualità della roccia:

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 ÷ 25	MOLTO SCADENTE
26 ÷ 50	SCADENTE
51 ÷ 75	DISCRETA
76 ÷ 90	BUONA
91 ÷ 100	ECCELLENTE

Dalle stratigrafie svolte dopo la campagna geognostica, si è proceduto al calcolo dell'R.Q.D. nel substrato litoide, ed è quasi sempre risultato  $\neq 0\%$ .

#### 4.3 RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE MONOASSIALE DELLA ROCCIA

Gli spezzoni roccia prelevati dopo il carotaggio sono stati analizzati eseguendo su questi prove di compressione uniassiale. Mentre i campioni di roccia per i quali non è stato possibile eseguire la compressione uniassiale, sono stati sottoposti alla prova di Point Load Test.

Entrambe queste prove sono state usate per determinare la resistenza a compressione della roccia  $\sigma_c$ , valore poi utilizzato per caratterizzare dal punto di vista geotecnico l'ammasso roccioso.

#### 4.4 ANGOLO D'ATTRITO E COESIONE DELL'AMMASSO

I valori di R.Q.D. della roccia sono stati utilizzati, attraverso software dedicati, per la caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso, utilizzando i criteri di classificazione di Bieniawski -1989 ed Hoek-Brown 2002.

##### 4.4.1 Classificazione di Bieniawski

La classificazione di Bieniawski tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione (R6) il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).

$$\text{RMR base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$\text{RMR corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

I parametri sono:

RMR = Rock Mass Rating

R1 (**Co** - Resistenza a compressione monoassiale);

R2 (**RQD%** - Rock Quality Designation);

R3 (**s** - Spaziatura delle discontinuità);

R4 Condizioni dei giunti

R5 Condizioni idrauliche dei giunti

R6 l'orientamento delle discontinuità



Ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale ricavato da abachi a seconda del valore (per RQD%, Co e s) o della condizione idraulica.

Le tabelle seguenti riportano i criteri di determinazione dell'indice RMR:

PARAMETRI		Valori						
Resistenza a compressione uniassiale (Mpa)		> 250	100 - 250	100 - 50	50 - 25	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente R1		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Coefficiente R2		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 - 2 m	60 - 20 cm	20 - 6 cm	< 6 cm		
Coefficiente R3		20	15	10	8	5		
Condizioni delle discontinuità		Sup. molto rugosa, non alterata, discont. chiuse non continue	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, poco alterate	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, molto alterate	Sup. lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1- 5 mm e continui	Riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui		
Coefficiente R4		30	25	20	10	0		
Condizioni idrauliche	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza (l/min)	nessuna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Condizioni generali	Asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Venute d'acqua		
Coefficiente R5		15	10	7	4	0		

Orientamento discontinuità		Valori				
Direzione di immersione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Poco favorevole	Sfavorevole	Molto sfavorevole
	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Coefficiente R6	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	-60

Dettagli sulle condizioni delle discontinuità R4 = A + B + C + D + E		Valori				
Lunghezza discontinuità		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Coefficiente A		6	4	2	1	0
Apertura		nessuna	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Coefficiente B		6	5	4	1	0
Rugosità		Molto rugosa	Rugosa	Leggermente rugosa	Liscia	Levigata
Coefficiente C		6	5	3	1	0
Riempimento		nessuno	Materiale duro < 5 mm	Materiale duro > 5 mm	Materiale tenero < 5 mm	Materiale tenero > 5 mm
Coefficiente D		6	4	2	2	0
Alterazione		Inalterata	Leggermente alterata	Moderatamente alterata	Molto alterata	Decomposta
Coefficiente E		6	5	3	1	0



Classi di qualità dell'ammasso roccioso	Valori				
	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
Coesione (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 200
Angolo d'attrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

I parametri di resistenza e di elasticità sono dedotti dall' $RMR_{base}$  :

- coesione in termini di tensioni efficaci:

$$c' = 5 \cdot RMR_{base} \quad (\text{KPa});$$

- angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci:

$$\varphi' = 5 + RMR_{base} / 2 \quad (^\circ);$$

- modulo di deformabilità:

relazione di Bieniawski (1978)

$$Ed = 2 R RMR_{base} - 100 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} > 50$$

relazione di Serafim Pereira (1983)

$$Ed = 10 (RMR_{base} - 10) / 40 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} < 50$$

#### 4.4.2 Criterio di rottura di Hoek-Brown

Attraverso il parametro G.S.I. ricavato dalla classificazione di Bieniawski è possibile ricavare le grandezze  $m$ ,  $s$

ed  $a$ , necessarie per la definizione del criterio di rottura di Hoek e Brown, secondo la relazione

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left( \frac{m \cdot \sigma_3'}{\sigma_c + s} \right)$$

$\sigma_1'$  è lo sforzo efficace principale massimo alla rottura;

$\sigma_3'$  è lo sforzo efficace principale minimo alla rottura;

$\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;

$m$ ,  $s$ , sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

Dall'equazione precedente si derivano le seguenti espressioni dei parametri di resistenza al taglio equivalenti

all'involuppo dei cerchi di Mohr:

$$\tau = A \cdot \sigma_c \cdot \sqrt{\left( \frac{\sigma_c - \sigma_{tm}}{\sigma_c} \right)}$$

$\tau$  è la tensione di taglio alla rottura;

$A$  e  $B$  sono costanti del materiale;



$\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassile della roccia intatta;

$\sigma_n'$  è lo sforzo normale efficace;

$\sigma_{tm}$  è la resistenza a trazione pari a:

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_c}{2} \cdot (m - \sqrt{m^2 + 4s})$$

L'angolo d'attrito istantaneo è dato:

$$\phi_i' = \arctan \left[ A \cdot B \cdot \left( \frac{\sigma_n' - \sigma_{tm}}{\sigma_c} \right)^{B-1} \right]$$

La coesione istantanea è data da:

$$c_i' = \tau - \sigma_n' \cdot \tan' \phi_i'$$

Le costanti A e B si ricavano da un'analisi di regressione di un gruppo di valori di  $\tau$  e  $\sigma_n'$  ricavati da prove triassiali:

$$B = \frac{\left[ \sum XY - \sum X \cdot \sum \frac{Y}{n} \right]}{\left[ \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}$$

dove:

$$A = 10^{\left( \sum \frac{Y}{n} - B \cdot \sum \frac{X}{n} \right)} \quad - \quad x = \log \left[ \frac{(\sigma_n' - \sigma_{tm})}{\sigma_c} \right] \quad - \quad Y = \log \left( \frac{\tau}{\sigma_c} \right)$$

e dove n è il numero della coppia di valori  $\tau$  e  $\sigma_n'$ ;

Le costanti m ed s sono legate all'indice GSI (Geological Strength Index) di Hoek dalle relazioni:

$$m = m_i \cdot e^{\frac{(GSI-100)}{28}}$$

$$\text{con } GSI \geq 25: \quad S = e^{\frac{(GSI-100)}{9}} \quad \text{Con } GSI < 25: \quad S = 0$$

con l'indice GSI che si può stimare dall'indice  $RMR_{base}$  di Bieniawski

$$GSI = RMR_{base} - R5 + 15$$

#### 4.5 DETERMINAZIONE PARAMETRI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

La normativa vigente impone la definizione dei **parametri caratteristici del terreno  $X_k$**  dai **valori medi  $X_m$**

ricavati dalle indagini geognostiche. Le istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici indicano che nelle valutazioni che il tecnico deve svolgere per pervenire ad una corretta scelta dei valori caratteristici appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai **valori medi** quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, come nel caso di fondazioni superficiali, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità tale a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più



resistenti.

Le stesse istruzioni indicano invece di fare riferimento ai **valori minimi** quando siano coinvolti modesti volumi di terreno, fondazioni su pali, verifica a scorrimento di un muro di sostegno, con concentrazione del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dagli strati meno resistenti a quelli più resistenti a causa dell'insufficiente rigidità della struttura .

Pertanto nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, devono quindi essere utilizzati i parametri caratteristici opportunamente interpretati come sopra indicato e parametri ridotti, **parametri di progetto  $X_d$** , ovvero ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto. La resistenza  $R_d$  è determinata in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza del terreno, divisi per i coefficienti parziali  $\gamma_m$  di seguito riportati nella Tabella 6.2.11 delle NTC 2018

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_m$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

Gli orizzonti geotecnici discretizzati come descritto in precedenza, hanno permesso di definire una sequenza stratigrafica come di seguito descritta e riportata nella sezione geotecnica allegata in TAV. 4 :

1. orizzonte più superficiale rappresentato da sabbie limose e riporto;
2. il secondo livello costituito da ghiaie e sabbie con scarsa matrice;
3. il terzo orizzonte costituito da ghiaie e sabbie in matrice argillosa;
4. il quarto costituito da argilliti fratturate e calcari
5. il quinto costituente il substrato locale, costituito da calcari marnosi.

Prendendo in considerazione i parametri geotecnici derivanti dalle correlazioni su indicate, analizzando gli stessi in funzione della tipologia dell'intervento prevista ed ai fini della progettazione geotecnica riteniamo corretta la definizione dei seguenti **parametri medi  $X_m$**



LITOLOGIA	Peso Vol. $\gamma$ t/mc	Ang. Attr. $\phi$	Coesione drenata $c'$ Kg/cm <sup>2</sup>	Coes nn dren $C_u$ Kg/cm <sup>2</sup>	Mod Edom. $E_d$ Kg/cm <sup>2</sup>
Argille limoso sabbiose	1,90	33,00	--	0,65	50
Ghiaie e sabbie	2,15	41,00	--	1,54	120
Ghiaie e sabbie in matrice	2,18	35,70	--	3,40	200
Argilliti e calcari	2,46	33,64	1,54	--	10 GPa
Sustrato calcareo	2,47	39,90	2,34	--	20 GPa

Da cui è possibile definire i seguenti **parametri caratteristici Xk**:

LITOLOGIA	Peso Vol. $\gamma$ t/mc	Ang. Attr. $\phi$	Coesione drenata $c'$ Kg/cm <sup>2</sup>	Coes nn dren $C_u$ Kg/cm <sup>2</sup>	Mod Edom. $E_d$ Kg/cm <sup>2</sup>
Argille limoso sabbiose	1,90	31,39	--	0,31	50
Ghiaie e sabbie	2,15	39,48	--	1,24	120
Ghiaie e sabbie in matrice	2,18	32,30	--	2,57	200
Argilliti e calcari	2,46	31,70	1,20	--	10 GPa
Sustrato calcareo	2,47	37,26	1,75	--	20 GPa

Di conseguenza i **parametri di progetto Xp** sono quelli di seguito indicati:

LITOLOGIA	Peso Vol. $\gamma$ t/mc	Ang. Attr. $\phi$	Coesione drenata $c'$ Kg/cm <sup>2</sup>	Coes nn dren $C_u$ Kg/cm <sup>2</sup>	Mod Edom. $E_d$ Kg/cm <sup>2</sup>
Argille limoso sabbiose	1,90	26,02	--	0,22	50
Ghiaie e sabbie	2,15	33,39	--	0,88	120
Ghiaie e sabbie in matrice	2,18	26,80	--	1,83	200
Argilliti e calcari	2,46	26,29	0,96	--	10 GPa
Sustrato calcareo	2,47	31,32	1,40	--	20 GPa

## 5 CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO

Su indicazione del progettista delle strutture, l'edificio oggetto del presente studio ha le seguenti tipologie del costruito:

### 5.1 VITA NOMINALE DELLA STRUTTURA (VN) (§ 2.4.1 NTC-18)

È intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, che per il caso in esame è la seguente:

Tipi di Costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50



### 5.2 CLASSI D'USO (CU) (§ 2.4.2 NTC-18)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono definite in classi d'uso a cui si associa un coefficiente d'uso  $C_u$  definito al variare della classe d'uso, nel caso esaminato la classe è:

Classe d'uso	Descrizione	$C_u$
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1,0

### 5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO (VR) (§ 2.4.3 NTC-18)

L'azione sismica è valutata in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  dell'opera e allo stato limite SL da verificare, cui è associata una prefissata probabilità di superamento PVR, che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_N \times C_u$$

Nel caso in esame:

$$V_R = 50 \times 1 = 50$$

### 5.4 STATI LIMITE E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO (§ 3.2.1 NTC-18)

La normativa definisce quattro stati limite, al fine di indicare, in chiave sismica, le prestazioni della costruzione nel suo complesso.

Gli **Stati Limite di Esercizio SLE** sono:

**SLO - Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi

**SLD - Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli **Stati Limite Ultimi SLU** sono:

**SLV- Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei



componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per ciascuno si definisce una probabilità di superamento  $P_{VR}$ , che rappresenta la probabilità di accadimento, nel periodo di riferimento  $V_R$  di almeno un sisma a tempo di ritorno  $T_R$

Stati Limite		$P_{VR}$ : probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	<b>SLV</b>	<b>10%</b>
	SLC	5%

#### 5.5 DEFINIZIONE DEL PERIODO DI RITORNO (§ 3.2.1 NTC-18)

Stabilito il Periodo di Riferimento  $V_R$  e la Probabilità di Superamento per ogni stato limite  $P_{VR}$  e ipotizzando che i terremoti seguano una distribuzione probabilistica di Poisson, si calcola il PERIODO di RITORNO  $T_R$  dell'azione sismica attraverso la formula:

$$T_R = \left[ \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \right]$$

Per il progetto in esame:

$V_R=50$	$SLU \rightarrow SLV \rightarrow P_{VR}=10\% \rightarrow T_R=475$ anni
----------	--

#### 5.6 CLASSIFICAZIONE TOPOGRAFICA DEL SITO (§ 3.2.2 NTC-18)

Nella definizione dell'azione sismica di progetto si devono considerare le seguenti categorie topografiche se di altezza > di 30 m.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$



Nel caso in esame si considera:

**Categoria: T1**

Tale valore viene utilizzato per determinare l'amplificazione topografica  $S_T$  in base a quanto indicato nella

Tabella 3.2.VI – NTC-18, dal quale si evince quanto sotto indicato:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>	-	<b>1</b>
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

### 5.7 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC-18)

La determinazione di tale parametro, è definita attraverso la misurazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  entro il sottosuolo locale, sino alla profondità  $H$  alla quale è stata rilevata la presenza del substrato rigido, costituito da roccia, con  $V_s > 800$  m/sec. Tale misura rappresenta la velocità equivalente delle onde di tipo S; viene calcolata conoscendo gli spessori degli strati e la relativa velocità  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio di ognuno al di sopra del substrato rigido.

Tale valore è indicato come velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , e si calcola con l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove: **h<sub>i</sub>** rappresentano lo spessore in metri

**V<sub>i</sub>** è la velocità delle onde di taglio dello strato *i*-esimo, il tutto per un totale di strati presenti nei primi 30 metri di spessore di terreno.

Per la definizione delle velocità della  $V_{s,eq}$  si è utilizzata la prospezione sismica tipo MASW eseguite sulle due rive del Rio Solano. Con questa prospezione geofisica si è identificato il profilo di velocità delle onde di taglio e relativi spessori, quindi si è proceduto al calcolo della velocità equivalente ( $V_{s,eq}$ ) nei livelli con  $V_s < 800$  m/sec. ed infine all'individuazione della della categoria sismica del suolo.

Nel profilo risultante in sinistra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle



prospezioni effettuate, siano stati individuati 3 diversi strati a differente velocità delle Vsh:

1. un primo strato di circa 2,50 m. di spessore, caratterizzato da una Vs media di 250 m/s;
2. uno strato di circa 7,00 m. di spessore con Vs media di 440 m/s;
3. oltre i 9,50 m di profondità è stata registrata una Vs di 900 m/s .

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec è stato rilevato ad una profondità di 9,50 metri da p.c. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 367$  m/sec.**

Nel profilo risultante in destra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate, siano stati individuati 6 diversi strati a differente velocità delle Vsh:

1. un primo strato di circa 2,00 m. di spessore, caratterizzato da una Vs media di 340 m/s;
2. un secondo strato di circa 3,20 m. di spessore con Vs media di 3200 m/s;
3. un terzo strato di circa 1,00 m. di spessore con Vs media di 5000 m/s
4. un quarto strato di circa 2,00 m. di spessore con Vs media di 700 m/s
5. un quinto strato di circa 19,00 m. di spessore con Vs media di 900 m/s
6. oltre i 27,20 m di profondità è stata registrata una Vs di 1.100 m/s .

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec è stato rilevato ad una profondità di 8,20 metri da p.c. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 395$  m/sec.**

Con le velocità indicate, in entrambi i casi, il suolo locale è ascrivibile alla categoria B; ma al fine della definizione del tipo di suolo, sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, si evidenziano le seguenti peculiarità:

quanto messo in luce dalle indagini geofisiche, individua un contrasto di rigidità sismica piuttosto evidente dei terreni di copertura con profondità comprese tra 8,20 ÷ 9,50 m di profondità e con Vs comprese tra 367 ÷ 395 m/sec. A mio avviso, la determinazione del suolo dalla sola media ponderata della velocità delle onde di taglio delle coperture, non appare corretta; pertanto con i dati ottenuti infatti riteniamo più significativa l'adozione di una categoria di suolo di fondazione "E". Tale affermazione deriva dal fatto della presenza di terreni alluvionali, aventi una Vs molto vicina a quella del sottosuolo C, su un substrato litoide, con una Vs > 800 m/sec., situazione che determina un contrasto di velocità molto elevato.



Pertanto, ai fini della valutazione della pericolosità sismica del sito, ritengo più cautelativa l'adozione, per la passerella sul Rio Solano, di una categoria di sottosuolo:

**CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: E**

#### 5.8 FREQUENZA DI SITO

Per la sua definizione sono stati utilizzati i dati provenienti dall'analisi HVSR, per questa analisi è stato preso in considerazione il grafico *frequenza (x) ÷ ampiezza del rapporto HV (y)* rilevato sul sito con una registrazione del rumore di fondo del sito di 20 minuti, ottenendo un valore della **frequenza di sito  $f_0$**  pari a:

$$f_0 = 6.81 \pm 8.22 \text{ Hz e } 63.97 \pm 21.44$$

#### 5.9 SISMICITÀ DI RIFERIMENTO SU SUOLO STANDARD

L'attuale zonazione sismica del territorio nazionale, emanata con O.P.C.M. 3519 del 26 aprile 2006, classifica i comuni secondo quattro zone, definite attraverso i valori dell'accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$ :

Zona	$a_g$
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05

La Giunta Regionale Toscana ha approvato, con deliberazione n. 431 del Giugno 2006, la nuova mappa di classificazione sismica del territorio regionale. Per l'area oggetto di studio:

Comune	CASTEL SAN NICCOLO'
Zona sismica	2
Accelerazione orizzontale massima al suolo di tipo A	$a_g = 0.25$

#### 5.10 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (§3.2 NTC-18)

La Pericolosità Sismica di Base è definita al sito specifico attraverso i seguenti parametri di scuotimento:

- ✓ **accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$**  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, su suolo di categoria A, con superficie topografica orizzontale;
- ✓ **lo spettro di risposta elastico** isoprobabile in accelerazione (componente orizzontale) in condizioni di campo libero su sito rigido con superficie topografica orizzontale, definito dai parametri  $F_0$  e  $T_c^*$ , rispettivamente valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione e periodo di inizio del



tratto a velocità costante dello spettro di risposta in accelerazione.

I parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$ , sono definiti in termini probabilistici con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nella vita di riferimento  $V_R$  del manufatto su tutto il territorio nazionale attraverso un reticolo di riferimento dello studio INGV con maglia avente passo  $<10$  Km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni. Il calcolo dello spettro elastico  $Se(T)$  è data dalla seguente relazione:

$$Se(T) = a_g \times S \times \eta \times F_o$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al suolo (PGA);  
 $\eta$  = fattore di smorzamento determinato, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

$\xi$  = espresso in percentuale, è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_o$  = valore massimo dell'amplificazione spettrale  $\leq 2.2$

$S$  = coefficiente di Amplificazione che tiene conto del Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  che dipende dalle categorie di suolo e da Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  che dipende dalla Pendenza attraverso la relazione :

$$S = S_s \times S_T$$

Il coefficiente  $S_s$  si determina con la Tabella 3.2.V sotto riportata:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Mentre il coefficiente  $C_c$  è utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico è definito come sopra indicato. Entrambi necessari per definire l'amplificazione stratigrafica del sito.

## 6 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Relativamente al sito d'intervento sono stati calcolati gli Input Sismici di Progetto per tutti gli stati limite

Sito in esame: **Passerella sul Rio Solano in località Strada in Casentino – Comune di Castel San Niccolò - AR**



latitudine:	43,74719
longitudine:	11,72095
Classe d'uso:	2
Vita nominale Vn:	50

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine	Longitudine	Distanza <i>m</i>
Sito1	20065	43,771060	11,690100	3630,5
Sito2	20066	43,772100	11,759290	4141,6
Sito3	20288	43,722110	11,760750	4243,3
Sito4	20287	43,721070	11,691580	3742,3

Le coordinate geografiche sono espresse su Datum ED50

#### 6.1 PARAMETRI SISMICI

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento Vr:	50
Coefficiente d'uso Cu:	1

	Probabilità superamento %	Tr <i>anni</i>	Ag <i>g</i>	Fo	Tc* <i>sec</i>
Operatività (SLO)	81	30	0,059	2,486	0,262
Danno (SLD)	63	50	0,075	2,459	0,272
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,183	2,383	0,292
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,232	2,381	0,305

#### 6.2 COEFFICIENTI SISMICI

	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax <i>m/sec<sup>2</sup></i>	Beta
SLO	1,600	1,960	1,000	0,019	0,009	0,926	0,200
SLD	1,600	1,940	1,000	0,024	0,012	1,170	0,200
SLV	1,520	1,880	1,000	0,067	0,033	2,723	0,240
SLC	1,390	1,850	1,000	0,090	0,045	3,164	0,280



## 7 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-18)

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori, quali le condizioni del terreno, inteso come fattore predisponente, e la sismicità del sito, intesa come fattore scatenante.

Il fenomeno della liquefazione riguarda i terreni, ovvero i suoli costituiti da materiale a comportamento granulare in presenza di falda e con terremoti a magnitudo  $M > 5,0$ .

La situazione del sito è stata caratterizzata da presenza al contatto tra letto alluvionale e substrato litoide locale, ed ai sensi del capitolo 7.11.3.4 delle NTC 2008 il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Per quanto riguarda l'intervento in oggetto, le spalle della passerella sul Rio Solano saranno appoggiate su fondazioni profonde in modo da trasmettere i carichi direttamente sul substrato litoide costituite da pali che trasferiranno i carichi direttamente al substrato lapideo costituito da argilliti e calcari.

Pertanto, vista la situazione litostratigrafica si può affermare che i terreni, sui quali andranno a gravare le fondazioni, non sono soggetti al fenomeno di liquefazione.

## 8 REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI

Per la realizzazione dell'intervento in oggetto saranno indispensabili operazioni di scavo a sezione obbligatoria. La natura e le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti consentono, per la rimozione del terreno utilizzo di escavatori meccanici. Il terreno di risulta, previa caratterizzazione chimica, potrà essere riutilizzato in loco per rinterri e riporti, l'eccedenza, se non riutilizzato in loco, dovrà essere smaltita in luoghi idonei e preventivamente autorizzati.

Gli eventuali riporti, dovranno essere realizzati senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto e pendenza dei terreni, provvedendo al compattamento ed inerbimento del terreno stesso ed evitando che abbiano a verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.



Se verranno rinvenuti materiali lapidei di grosse dimensioni dovranno essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento ed assestamento dello stesso e potranno essere utilizzati sempre in sito, in condizioni di stabilità ed in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali.

I depositi temporanei di materiale terroso e/o lapideo, prodotti durante le fasi di cantiere, dovranno essere realizzati in modo da evitare fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. Tali depositi dovranno inoltre essere posti a debita distanza di sicurezza dai fronti di scavo, al fine di evitare sovraccarichi sui fronti stessi.

## 9 CONCLUSIONI

Alla luce delle indagini svolte e dei risultati ottenuti si ritiene che l'intervento edilizio in progetto PASSERELLA SUL RIO SOLANO, - da eseguire nel Comune di Castel San Niccolò – AR, è compatibile con la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e la caratterizzazione geotecnica dell'area a condizione che siano rigorosamente osservate le indicazioni esposte nei paragrafi precedenti.

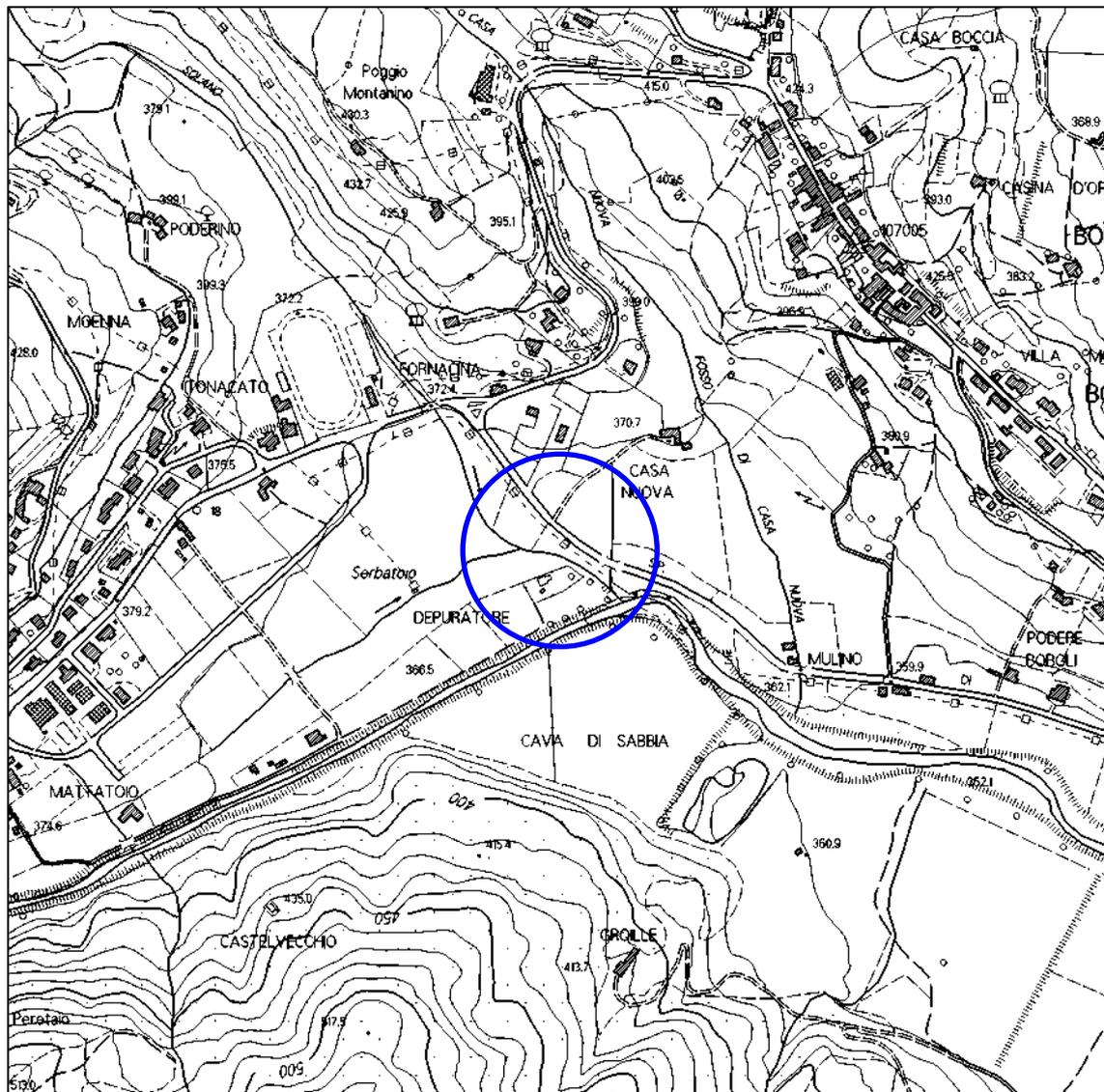
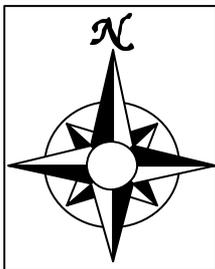
Sarà pertanto sufficiente attenersi alle normali disposizioni legislative. Si ribadisce che il controllo e la gestione del cantiere dovrà essere effettuata dal Direttore dei Lavori e dal Committente, ai quali si rimanda incondizionatamente per quanto riguarda la corretta esecuzione del progetto e la rigorosa osservanza delle indicazioni contenute nella presente relazione.

BADIA PRATAGLIA, lì 05/10/2019

Dott. Geol. LUIGI FARINI  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA  
N° 763

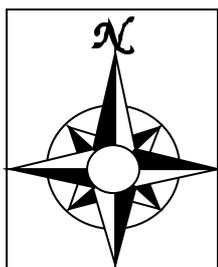


**TAV. 1**  
**INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**  
SCALA 1 : 10.000

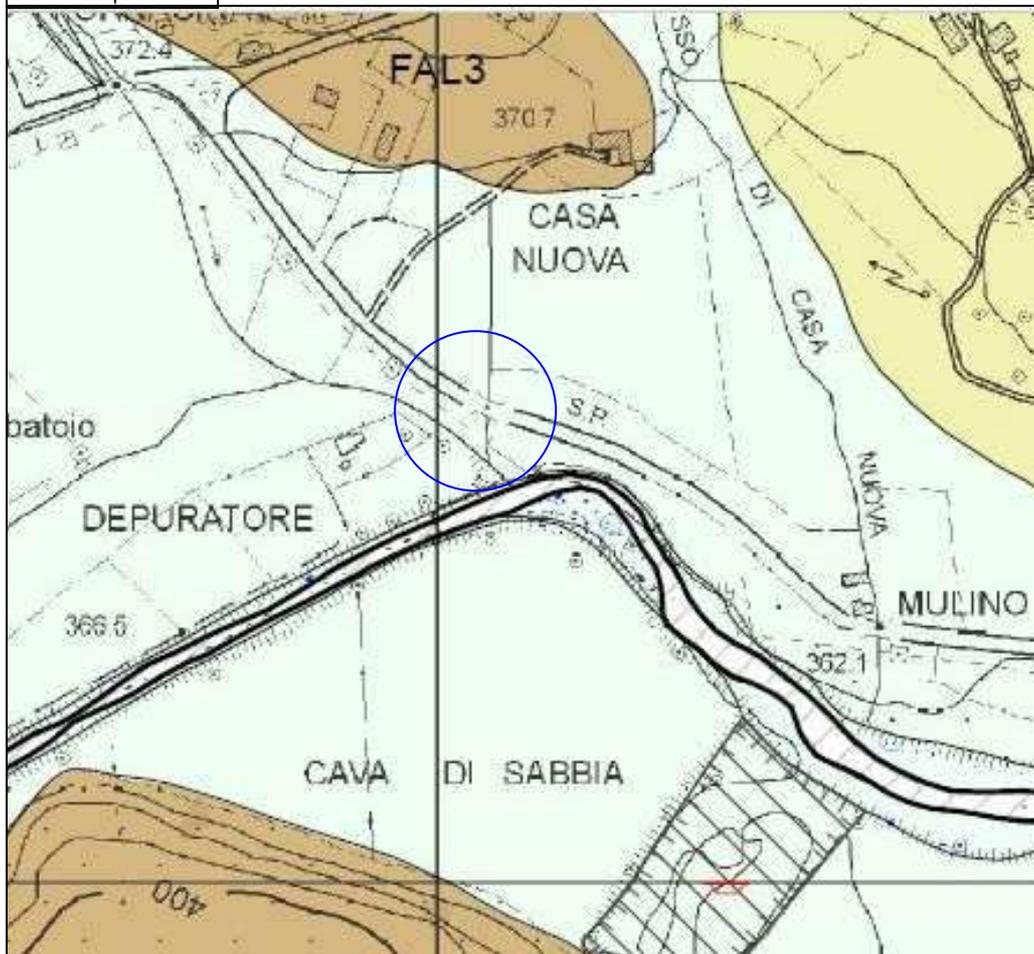


UdCM Casentino Prot 0002808 del 15-02-2021 partenza Cat 6 Cl 7 Fas

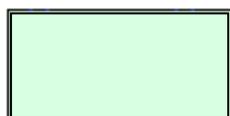




**TAV. 2**  
**CARTA GEOLOGICA**  
SCALA 1 : 5.000



**LEGENDA:**



DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI



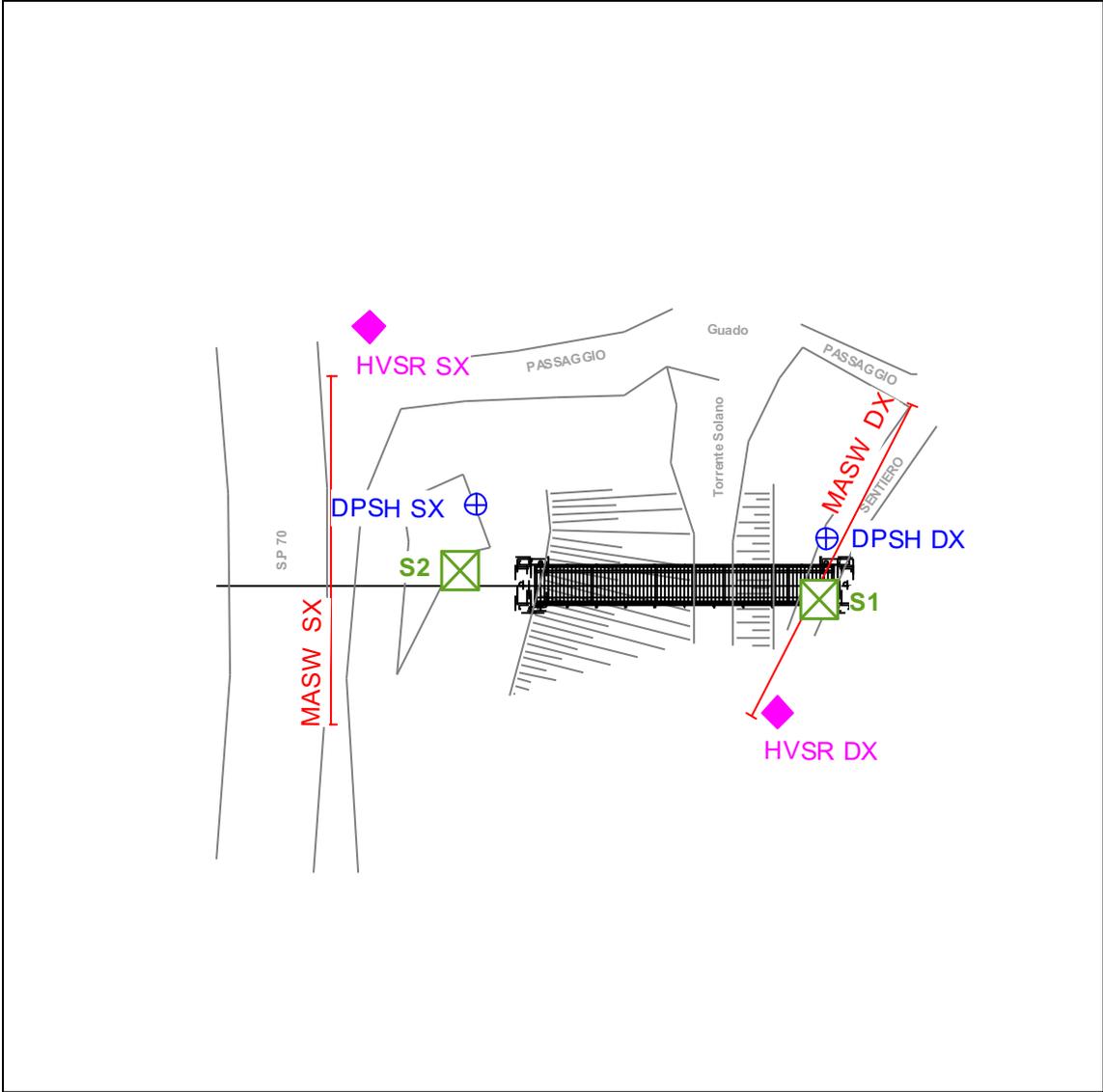
ARGILLE E CALCARI DI CANETOLO



ARENARIE DEL MONTE FALTERONA



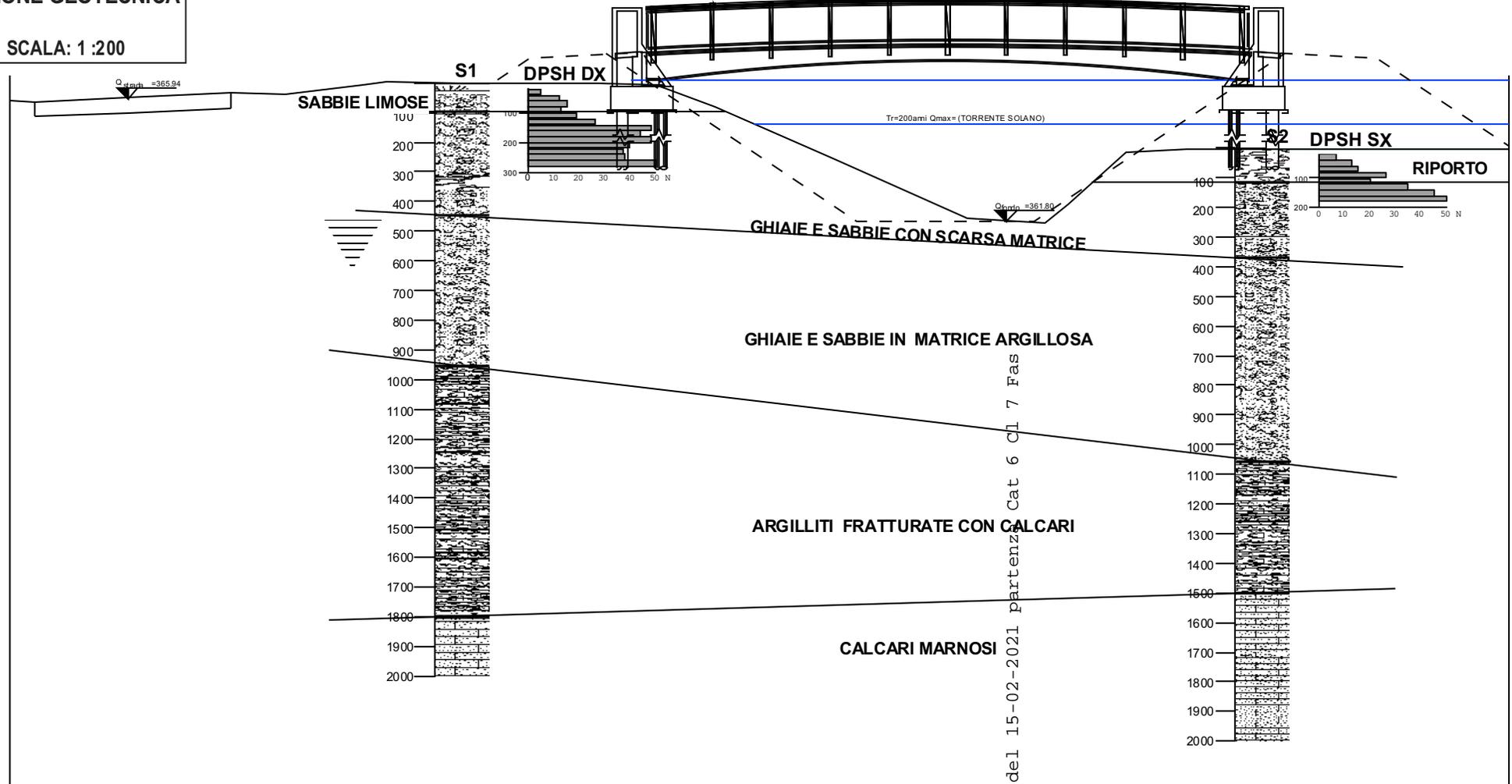
**TAV. 3**  
**PLANIMETRIA INTERVENTO CON**  
**UBICAZIONE INDAGINI**  
 SCALA 1 : 500



	S3	Sondaggio a carotaggio continuo
	DPSH DX	Indagine geotecnica: prova penetrometrica dinamica DPSH
	MASW	Indagine sismica attiva: Analisi multicanale delle onde superficiali
	HVSX	Indagine sismica passiva: acquisizione e analisi di rumore sismico ambientale



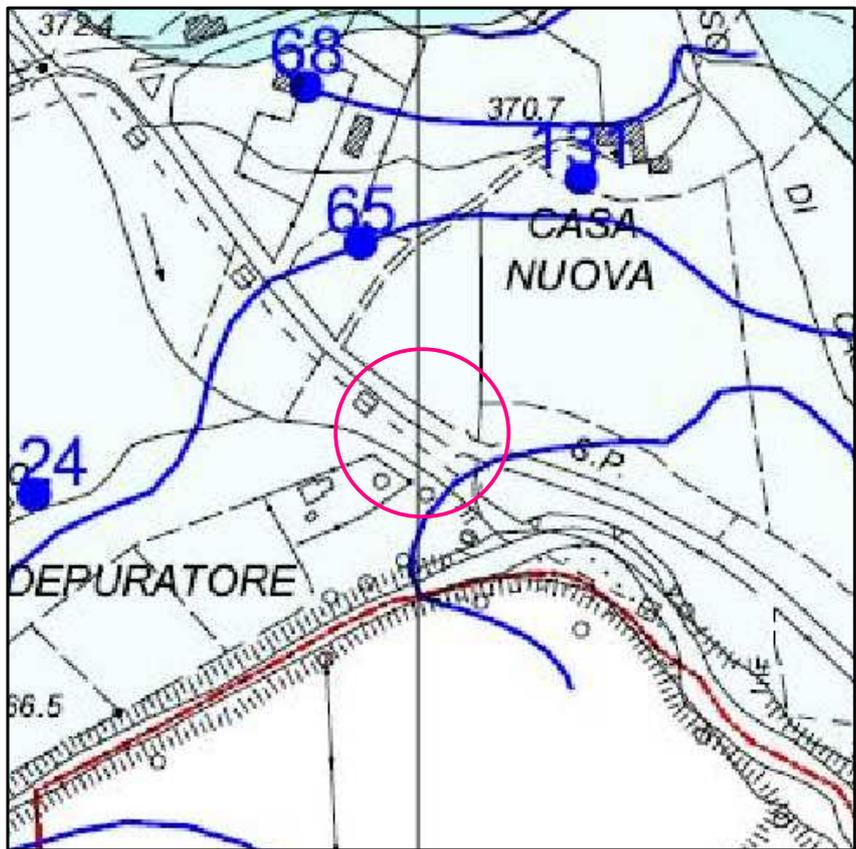
**TAV. 4**  
**SEZIONE GEOTECNICA**  
SCALA: 1:200



NUMERO SEZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DISTANZE PARZIALI	0.83	3.17	3.53	1.85	2.63	0.83	2.52	0.65	4.00	1.96	2.04	4.00	4.54	2.80	0.81	1.93	2.07	2.27	8.70	
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	0.83	4.00	7.53	9.37	12.00	12.83	15.35	16.00	20.00	21.96	24.00	28.00	32.54	35.19	36.00	37.93	40.00	42.27	50.97
QUOTE TERRENO	365.86	365.80	365.94	366.12	366.06	366.39	366.48	366.46	366.45	366.46	366.41	365.62	363.80	361.88	361.72	362.34	364.11	364.20	364.23	364.22
QUOTE PROGETTO											367.50			367.80					367.50	



**TAV. 5**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL CASTEL SAN NICCOLO'**  
**CARTA IDROGEOLOGICA**



**LEGENDA :**

- PERMEABILITA' BASSA

CLASSE 4 ----  $10 E-9 < K < 10 E-7$  cm/s  
 unità argillitiche
- PERMEABILITA' MEDIO BASSA

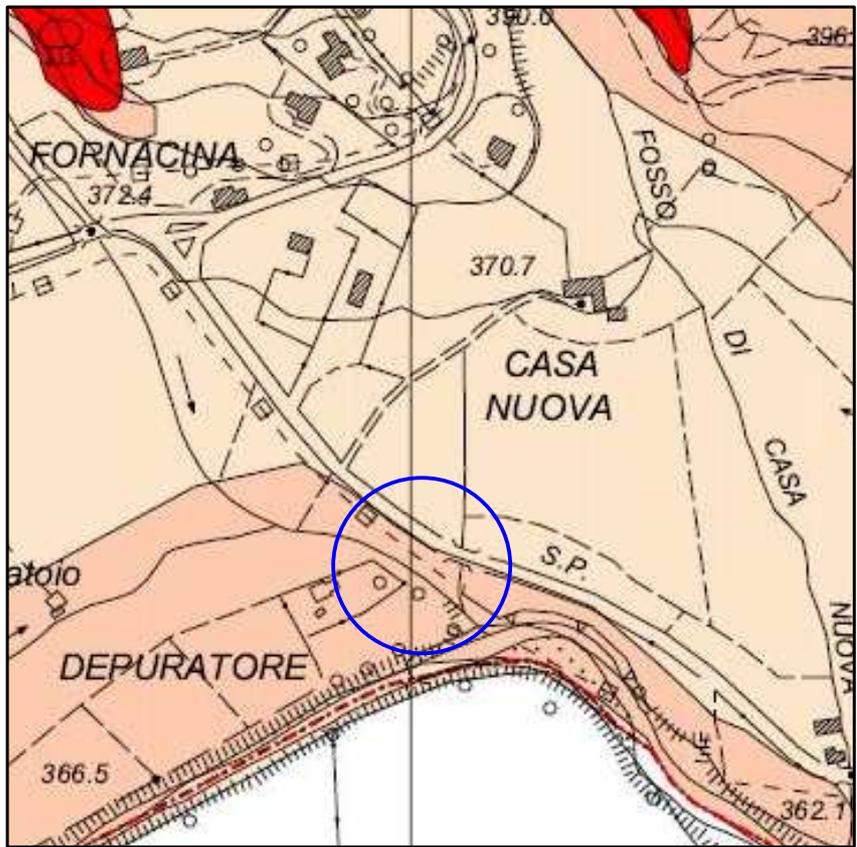
CLASSE 3 ----  $10 E-7 < K < 10 E-5$  cm/s  
 flysch arenaceo
- PERMEABILITA' MEDIA

CLASSE 2 ----  $10 E-5 < K < 10 E-3$  cm/s  
 flysch calcareo - detrito di falda
- PERMEABILITA' ELEVATA

CLASSE 1 ----  $10 E-3 < K < 10 E2$  cm/s  
 depositi fluviali
- ubicazione pozzo con numero progressivo censimento
- 360 — isofreatica con quota assoluta sul livello del mare



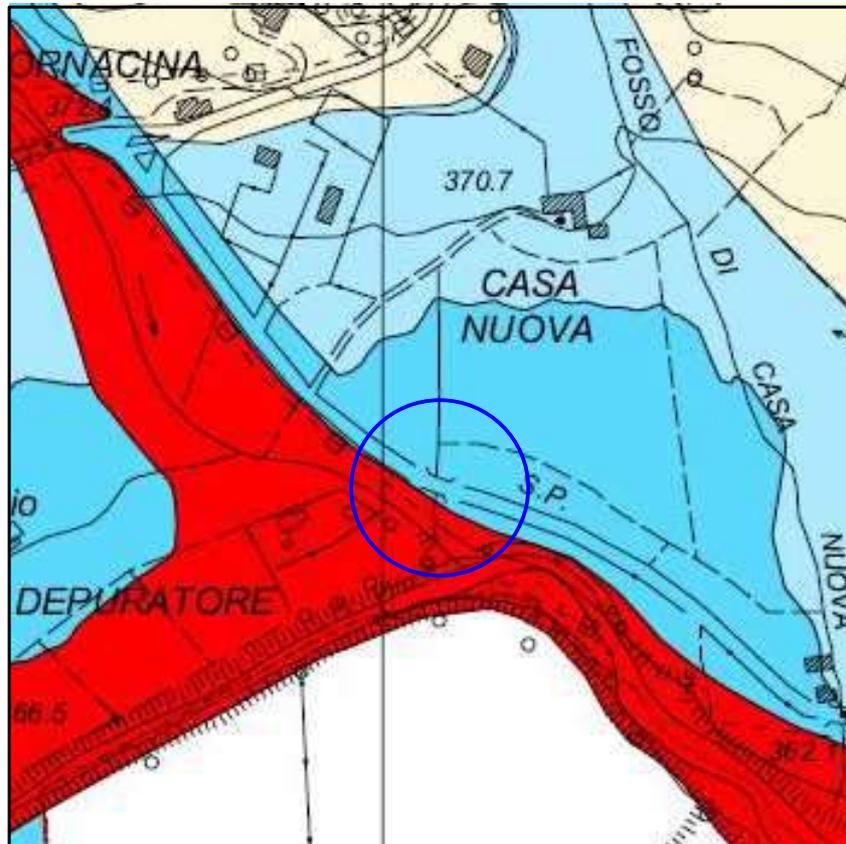
**TAV. 6**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI CASTEL SAN NICCOLO'**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA**



**LEGENDA :**

- classe 2 - pericolosità geologica bassa  
 situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili
  
- classe 3 - pericolosità geologica media  
 condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito  
 tali da far ritenere che esso si trovi al limite dell'equilibrio
  
- classe 4 - pericolosità geologica elevata  
 aree interessate da fenomeni di dissesto



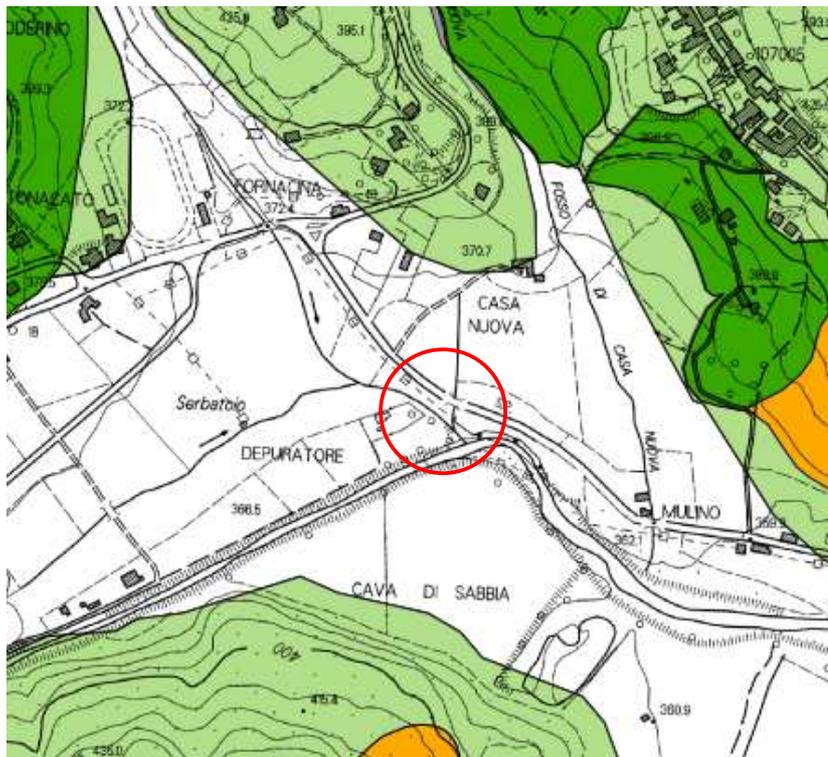
**TAV. 7****ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE  
DEL CASTEL SAN NICCOLO'  
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA****LEGENDA :**

-  classe 1 - pericolosità idraulica irrilevante  
Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua  
per le quali ricorrono le seguenti condizioni:  
- non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni  
- sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale
-  classe 2 - pericolosità idraulica bassa  
Aree di fondovalle per le quali ricorrono le condizioni di cui alla classe 1
-  classe 3 - pericolosità idraulica media  
Aree per le quali ricorre almeno una delle seguenti condizioni:  
- vi sono notizie storiche d inondazioni  
- sono in situazione morfologica sfavorevole (quota inferiore a 2.0 m sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda)
-  classe 4 - pericolosità idraulica molto elevata  
(Del. n. 139 del 29/11/1999 - C.I.Autorità di Bacino Fiume Arno)  
Aree di fondovalle non protette da opere idrauliche  
per le quali ricorrono entrambe le condizioni di cui alla classe 3



### TAV. 8

## ESTRATTO DEL P.A.I. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO Perimetrazione aree con pericolosità di frana

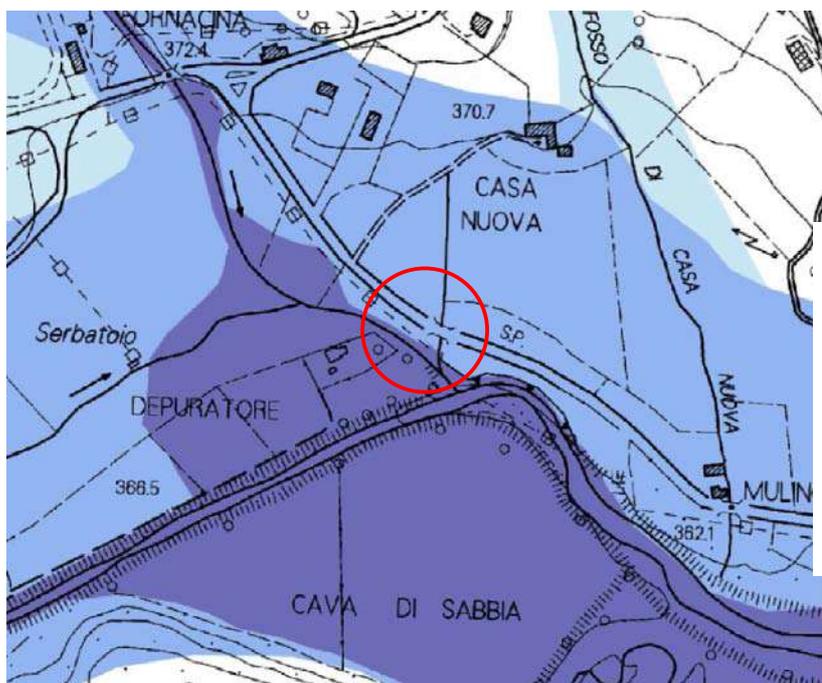


#### LEGENDA :

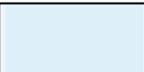
Livello di sintesi in scala 1:25.000

-  P.F. - NC
-  P.F.1 - Pericolosità moderata
-  P.F.2 - Pericolosità media
-  P.F.3 - Pericolosità elevata

## ESTRATTO DEL P.G.R.A. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DEL FIUME ARNO Mappa del Rischio di Alluvione

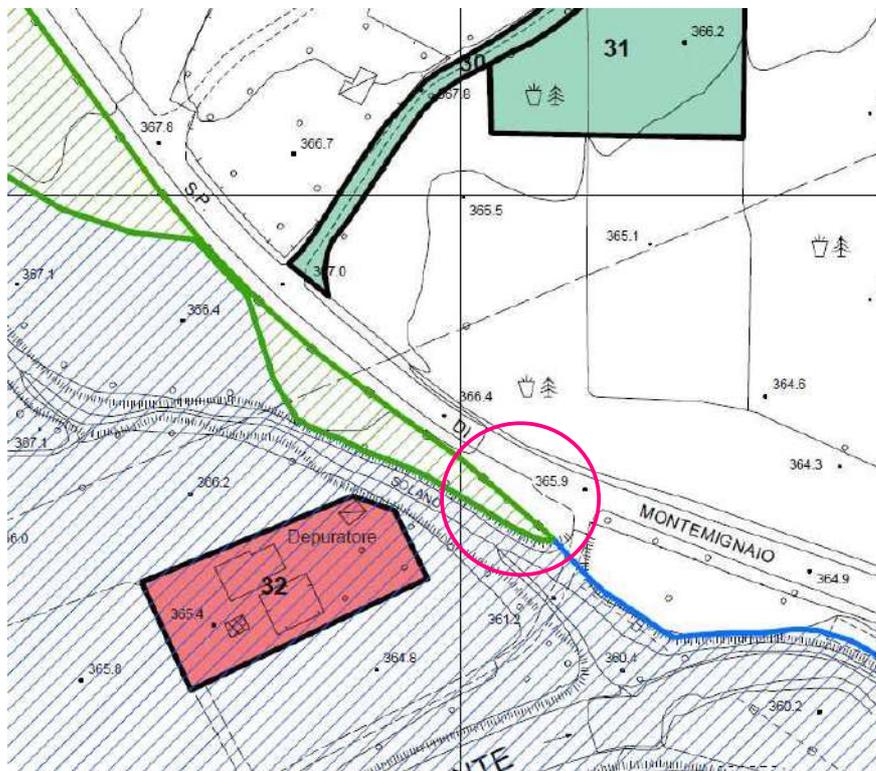


#### LEGENDA :

-  P1 - Pericolosità bassa  
(alluvioni rare e di estrema intensità)
-  P2 - Pericolosità media  
(alluvioni poco frequenti)
-  P3 - Pericolosità elevata  
(alluvioni frequenti)



**TAV. 9**  
**ESTRATTO DI REGOLAMENTO URBANISTICO**  
**DEL COMUNE DI CASTEL SAN NICCOLO'**  
**CARTA DELLA FATTIBILITA'**



**LEGENDA :**

**CLASSI DI FATTIBILITA'**

- Classe 1 : Fattibilità senza particolari limitazioni
- Classe 2 : Fattibilità con normali vincoli da precisare a livello di progetto
- Classe 3 : Fattibilità condizionata
- Classe 4 : Fattibilità limitata

**PAI - PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO FIUME ARNO**  
 (Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica)

- P.I.3. - Aree a pericolosità elevata
- P.I.4. - Aree a pericolosità molto elevata

**Intervento\_n°32**

**F5**

Fattori_geologici	Depositi fluviali terrazzati
Fattori_geomorfologici	-
Fattori_litotecnici	Successioni conglomeratiche sabbiose - incoerenti.
Permeabilità	elevata
Classe_pendenze	fino a 5%, da 5% a 10%
Pericolosità_geologica	classe 3 - pericolosità media
Aree_allagate	Inondazione eccezionale
Ambiti_fluviali	Ambito A1, Ambito B
Pericolosità_idraulica	classe 4 - pericolosità elevata
Pericolosità_geologica_PAI	-
Pericolosità_idraulica_PAI	P.I.4 - Aree a pericolosità molto elevata
Fattibilità	classe 4

La classe 4 di FATTIBILITA' deriva da problematiche di carattere idraulico emerse dallo studio idraulico condotto a livello di Regolamento Urbanistico. Nelle porzioni di area ricadenti in tale classe di fattibilità non possono essere attuati interventi di carattere edificatorio senza che siano previste misure di mitigazione del rischio. Allo stato attuale per tali aree si prevede una destinazione a verde non attrezzato.

L' area ricade anche in P.I.4 di PAI, pertanto gli interventi sono attuabili a condizione che al momento del rilascio del permesso a costruire siano rispettati gli obblighi di cui all'art.6 delle Norme Tecniche di Attuazione approvate con D.P.C.M del 06/05/2005

Parte dell'intervento ricade in ambito fluviale A1 che delimita l'area di rispetto dei 10 metri individuata a partire dal ciglio di sponda o dal piede esterno dell'argine. Gli unici interventi consentiti in questo ambito sono le opere idrauliche di attraversamento del corso d'acqua, le captazioni e restituzioni delle acque e gli adeguamenti di infrastrutture esistenti senza avanzamento verso il corso d'acqua.



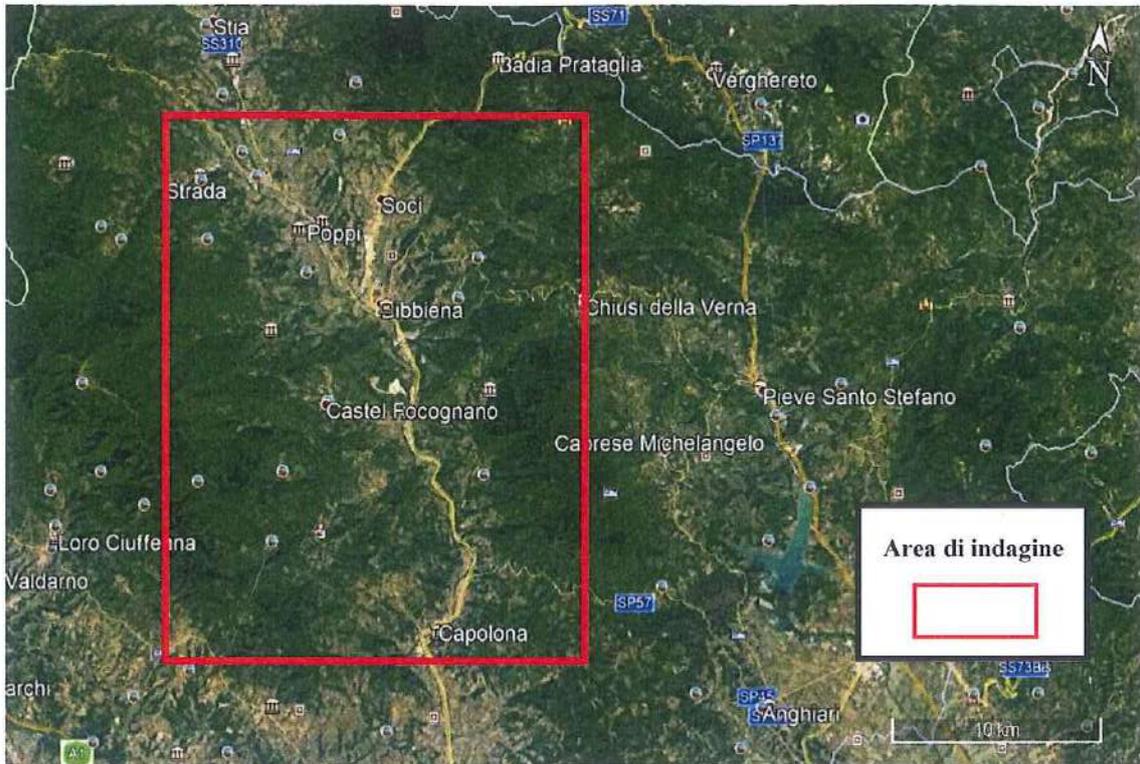
**TAV. 10****TABELLA GUIDA PER L'ASSEGNAZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITA'**

<b>DEL COMUNE CASTEL SAN NICCOLO'</b>	pericolosità di Piano Strutturale		
	2	3	4
<b>TIPO DI INTERVENTO EDILIZIO/URBANISTICO</b>			
Interventi che comportino alterazioni morfologiche (movimenti di terra, sbancamenti, riporti, percorsi vicinali e interpoderali, strade, manufatti di materiale sciolti, terra armata, muri di sostegno, parcheggi, campi sportivi etc.)	2	3	4
Manufatti interrati, scavi sotto falda	2	3	4
Canali, laghetti, cisterne, regimazione delle acque, acquedotti e fognature	2	3	4
<b>MANUTENZIONE ORDINARIA</b>	1	1	1
<b>MANUTENZIONE STRAORDINARIA</b>	1	1	1
Nel caso di consolidamento di fondazioni e murature e/o costruzione di vespai e scannafossi	2	3	4
<b>RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO</b>			
Nel caso di consolidamento di fondazioni e murature e/o costruzione di vespai e scannafossi	1	1	1
	2	3	4
<b>RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA</b>			
riorganizzazione con modifiche non strutturali ampliamento con sopraelevazioni	2	2	2
svuotamento dell'edificio	2	3	4
ristrutturazioni edilizie escluse demolizioni e ricostruzioni, modesti ampliamenti (indicativamente di superficie 25 mq) e sopraelevazioni (intese solo come adeguamenti di altezza), senza alterazioni morfologiche e senza fondazioni speciali	2	3	4
Ristrutturazioni edilizie, demolizioni e ricostruzioni, ampliamenti e sopraelevazioni non dichiarabili modesti ai sensi del D.M. LL.PP. 9/1/87 titolo II Cap. I	2	3	4
<b>NUOVE COSTRUZIONI (FABBRICATI RURALI E ANNESSI RURALI)</b>	2	3	4
Piccoli manufatti non abitativi (garages e rimesse non interrati, annessi a servizio della produzione agricola di volume 80 mc)	2	3	4
	<b>classi di fattibilità</b>		



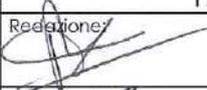
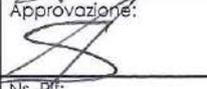
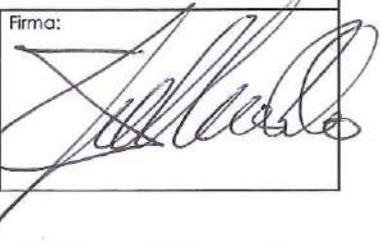
INDAGINI GEOGNOSTICHE:  
STRATIGRAFIA SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO  
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE





Lavoro:

## LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Commessa N°:  082S-2019	Elaborato:  <b>RAPPORTO TECNICO</b>	
Rev:  1.1	<b>UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO</b>	
Redazione: 		Verifica: 
Approvazione: 		Consegnato:
Ns. Rif:	Timbro: <b>CAM PERFORAZIONI S.r.l.</b> Unipersonale Viale Vanzolini 38 61121 PESARO (PU) Cod. Fisc. e P. IVA 01511320432	Firma: 

Proprietà riservata. Riproduzione anche parziale consentita solo previa autorizzazione scritta



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:  
RAPPORTO TECNICO

Committente:  
UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 2 di 17

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2. PROVE PENETROMETRICHE</b> .....	<b>7</b>
2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH .....	7
2.1.1 CORRELAZIONE $N_{SPT}$ .....	8
2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA .....	8
2.1.3 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE .....	9
2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI .....	9
2.1.5 RESTITUZIONE DATI .....	10
2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT.....	10
2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE.....	11
2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI .....	12
2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (AUTORI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI):.....	12
<b>3 SONDAGGIO GEOTECNICO</b> .....	<b>13</b>
3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO .....	14
3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE .....	15
3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO .....	15
3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST) .....	15

## APPENDICE

- Tavola 1: Ubicazione indagini (loc. Archiano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Archiano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Archiano)
  
- Tavola 2: Ubicazione indagini (loc. Corsalone)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Corsalone)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Corsalone)
  
- Tavola 3: Ubicazione indagini (loc. Solano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Solano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Solano)
  
- Tavola 4: Ubicazione indagini (loc. Burlazzo)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Burlazzo)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Burlazzo)

## 1. PREMESSA

Il presente Rapporto Tecnico illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche eseguita su incarico della committenza UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO in varie località situate lungo il tratto del fiume Arno Casentino.

La campagna di indagine è stata svolta secondo il seguente programma:

- Esecuzione di **n° 8** prove penetrometriche dinamiche "DPSH" e statiche "CPT", come indicato nella tabella seguente:

Località	Profondità (m)	Data
ARCHIANO DX	5,40(DPSH)	28/08/2019
ARCHIANO SX	6,60(DPSH)	28/08/2019
CORSALONE DX	2,80(CPT)/6,20(DPSH)	27/08/2019
CORSALONE SX	6,60(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO DX	3,00(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO SX	3,20(DPSH)	27/08/2019
SOLANO DX	2,80(DPSH)	26/08/2019
SOLANO SX	1,80(DPSH)	26/08/2019

Tab.1 – Elenco delle prove penetrometriche

- Esecuzione di **n° 8** sondaggi a carotaggio secondo la seguente tabella:

Sondaggio n.	Località	Profondità (m)	Data
S1 (DX)	Archiano	20.00	27-28/08/2019
S2 (SX)		20.00	06-07/08/2019
S1 (DX)	Corsalone	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	31/08 - 03/09 /2019
S1 (DX)	Burlazzo	20.00	28-29/08/2019-
S2 (SX)		20.00	02-03/09/2019
S1 (DX)	Solano	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	29/08/2019

Tab.2 – Elenco sondaggi geognostici

- esecuzione di **n°25** prove SPT in foro, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Prova	Prof. (m)	n° colpi	Punta Chiusa/ Punta Aperta
S1 Archiano DX	SPT1	3.00-3.35	22-38-R(5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.25	28-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.40	24-43-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.25	18-R (10cm)	Punta Chiusa
S2 Archiano SX	SPT1	4.00-4.20	17-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	24-35-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.80-10.00	39-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	13.00-13.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Corsalone DX	SPT1	3.00-3.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.04	R (4cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.19	42-R (4cm)	Punta Chiusa
S2 Corsalone SX	SPT1	3.00-3.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Burlazzo DX	SPT1	3.00-3.20	46-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.10	R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	12.00-12.20	36-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Burlazzo SX	SPT1	3.00-3.45	15-18-32	Punta Aperta
	SPT2	6.15-6.55	18-42-R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Solano DX	SPT1	4.00-4.20	41-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	22-38-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Solano SX	SPT1	3.00-3.45	10-13-15	Punta Aperta
	SPT2	6.00-6.35	27-42-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.28	40-R (13cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa

Tab.3 – Elenco prove SPT eseguite.

- prelievo di n°46 campioni rimaneggiati, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Campione n.	Prof. (m)	data
<b>S1 Archiano DX</b>	CRSPT1	3.00-3.35	27/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.25	27/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.40	27/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.25	27/08/2019
	CR1	15.40-15.90	28/08/2019
	CR2	19.00-19.50	28/08/2019
<b>S2 Archiano SX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	06/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	06/08/2019
	CRSPT3	9.80-10.00	06/08/2019
	CRSPT4	13.00-13.10	06/08/2019
	CR1	16.50-16.70	07/08/2019
<b>S1 Corsalone DX</b>	CRSPT1	3.00-3.05	30/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.04	30/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.05	30/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.19	30/08/2019
	CR1	17.60-18.00	31/08/2019
	CR2	19.50-20.00	31/08/2019
<b>S2 Corsalone SX</b>	CRSPT1	3.00-3.40	31/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.10	31/08/2019
	CR1	9.50-9.80	31/08/2019
	CR2	14.40-14.80	03/09/2019
	CR3	16.00-16.40	03/09/2019
<b>S1 Burlazzo DX</b>	CRSPT1	3.00-3.20	28/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.10	28/08/2019
	CR1	8.60-8.80	28/08/2019
	CRSPT3	12.00-12.20	29/08/2019
	CR2	15.60-16.00	29/08/2019
	CR3	17.60-18.00	29/08/2019
<b>S1 Burlazzo SX</b>	CRSPT1	3.00-3.45	02/09/2019
	CRSPT2	6.15-6.55	02/09/2019
	CR1	9.50-10.00	03/09/2019
	CR2	14.00-14.30	03/09/2019
	CR3	15.70-16.00	03/09/2019
	CR4	19.70-20.00	03/09/2019
<b>S1 Solano DX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	30/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	30/08/2019
	CR1	10.70-11.00	30/08/2019
	CR2	15.00-15.40	30/08/2019
	CR3	17.40-17.80	31/08/2019
	CR4	19.50-20.00	31/08/2019

<b>S2 Solano SX</b>	<b>CRSPT1</b>	3.00-3.45	29/08/2019
	<b>CRSPT2</b>	6.00-6.35	29/08/2019
	<b>CRSPT3</b>	9.00-9.28	29/08/2019
	<b>CRSPT4</b>	12.00-12.40	29/08/2019
	<b>CR1</b>	15.30-15.70	29/08/2019
	<b>CR2</b>	17.00-17.50	29/08/2019

Tab.4 – Elenco campioni rimaneggiati.

Le carote di terreno prelevate durante l'esecuzione dei sondaggi sono state riposte in apposite cassette catalogatrici a scomparti, delle quali è stato redatto un rapporto stratigrafico e fotografico, riportato in appendice.

Negli allegati che seguiranno sono inoltre riportate le restituzioni numeriche e grafiche delle prove in sito eseguite.

## 2. PROVE PENETROMETRICHE

### 2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento per tratti consecutivi di lunghezza standard.

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

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consentono di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una parametrizzazione per la caratterizzazione stratigrafica.

Tale parametrizzazione, ricavata da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattata con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche del presente rapporto, è stato utilizzato un penetrometro "PAGANI" TG 63- 200 kN, con le seguenti caratteristiche:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75m
Peso sistema di battuta	0,63Kg
Diametro punta conica	51,00mm
Area di base punta	20,43cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	90°
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	6,31Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40m
Avanzamento punta	0,20m
Numero colpi per punta	N <sub>(20)</sub>
Coeff. Correlazione	1,472
Rivestimento/fanghi	No

### 2.1.1 CORRELAZIONE N<sub>spt</sub>

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<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>.

Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> 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.
- d passo di avanzamento.

### 2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA

*Formula Olandesi*

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

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

### 2.1.3 METOLOGIA DI ELABORAZIONE

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

### 2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI

#### • **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato).

#### • **Pressione ammissibile**

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

### 2.1.5 RESTITUZIONE DATI

La restituzione dei dati di campagna, contempla una prima tabella con indicati la profondità, il numero dei colpi per l'avanzamento caratteristico di 20 cm, il coefficiente di riduzione caratteristico e le relative resistenze dinamiche. Alla tabella numerica segue una parametrizzazione indicativa determinata sulla base di una suddivisione in strati omogenei per numero di colpi sui quali vengono determinati i principali parametri geotecnici.

### 2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

La prova penetrometrica statica viene realizzata infiggendo nel terreno la speciale punta "Begemann" avente le seguenti caratteristiche geometriche:

DIAMETRO DELLA PUNTA	35.7 m
ANGOLO DI APERTURA DEL CONO	60°
AREA DI BASE DEL CONO	10 cm <sup>2</sup>
DIAMETRO DEL MANICOTTO D'ATTRITO	36 mm
SUPERFICIE LATERALE MANICOTTO	150 cm <sup>2</sup>

Detta punta penetra mediante una pressione del gruppo di spinta idraulica del penetrometro, alla velocità standardizzata di 2 cm/sec, ed è raccordata mediante una filettatura conica ad una serie di aste  $\Phi=36 \times 1000$  mm, che alloggiato al loro interno una serie di astine  $\Phi=15$  mm.

Tramite l'utilizzo di un selettore composto da una cella di carico e da una centralina elettronica digitale, si acquisiscono i valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta ( $Q_c$ ) e allo scorrimento contemporaneo del manicotto di frizione e del corpo punta (sforzo totale  $Q_t$ ).

La cella di carico è dotata di un trasduttore estensimetrico in grado di convertire lo sforzo di spinta in un segnale elettrico, che opportunamente condizionato e amplificato, viene visualizzato sul display digitale della centralina di acquisizione sopra menzionata.



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:

RAPPORTO TECNICO

Committente:

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 11 di 17

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta

Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto

Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

## 2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP** ) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico, che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$A_p$  = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann" ) = 10 cm<sup>2</sup>

$A_m$  = area del manicotto di frizione = 150 cm<sup>2</sup>

$C_t$  = costante di trasformazione = 10

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza alla punta**

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza laterale**

$Q_c (RP)$  = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Superficie Punta  $A_p$

$Q_l (RL) (fs)$  = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct /  $A_m$  area del manicotto di frizione.

La resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto alla quota della prima lettura della punta.

**N.B.**

$$A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

## 2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI

- **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato.

- **Correlazioni**

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

## 2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento utilizzati):

Begemann 1965 (consigliato per CPT)

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 13 di 17

### 3 SONDAGGIO GEOTECNICO

Il sondaggio geotecnico a "carotaggio continuo" consiste nella perforazione a rotazione in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità ed osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

### 3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione CMV MK 600D carrocingolata, aventi le seguenti caratteristiche:

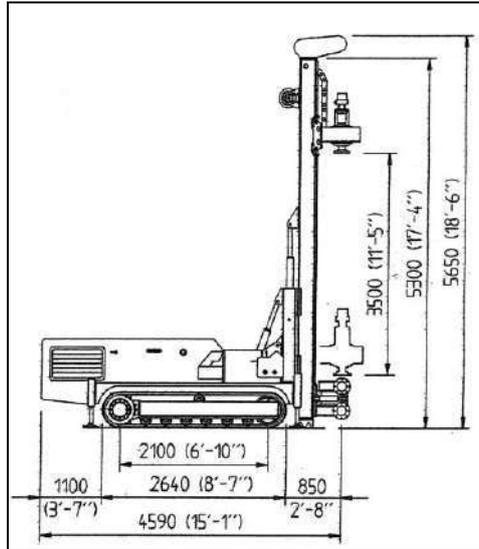


Fig.1 – Sonda perforatrice tipo "CMV MK 420 F"

<b>SOTTOCARRO</b>	type	BERCO		
Lunghezza	mm	2540	(8'-7")	
Larghezza	mm	1800	(5'-10")	
Pattini	mm	300	(11")	
Rulli	no.	6		
Stabilizzatori	no.	4		
<b>MOTORE DIESEL</b>	type	Deutz F4L 912		
Potenza	Sbp	75		
Insonorizzazione	dB	70		
Serbatoio carburante	lt	90	(gal. 23)	
Serbatoio olio idraulico	lt	290	(gal. 76)	
<b>MAST</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Lunghezza	mm	5300 (17)	3800 (12')	2100 (7')
Corse tavola rotary	mm	3500 (11')	2200 (7')	1150 (4')
Spinta sull'unitaria	kg	1500	(lb. 3307)	
Forza di estrazione	kg	2500	(lb. 5512)	
Traslazione verticale	mm	700	(2'-3")	
<b>MORSE</b>				
Morsa di bloccaggio dia.	mm	60/220	(2'-9")	
Morsa sviatrico dia.	mm	60/220	(2'-9")	
<b>ARGANO</b>				
Capacità tamburo	m	65	(213')	
<b>TAVOLA ROTARY</b>				
Coppia	kgm	100 - 600	(lb.ft 723 - 4340)	
Velocità Min. - Max.	rpm	342 - 32		
Passaggio testa di adduzione	inch	2"		
Hydraulic	mm	450	(18")	
<b>PESO TOTALE</b>	kg	9000	(lb. 19845)	
<b>APPLICAZIONI</b>				
Top hammer (drifter)	type	Knupp HB 20A		
Colpi al minuto	min-1	2800		
<b>Jet Grouting</b>				
Profondità max.	m	11	(36')	
Diametro aste	mm	60-76	(2'-3")	
Timer	type	Digital		
<b>ACCESSORI</b>				
Lubrificazione di linea	lt	17	(gal 5)	
Pompa acqua	l/min - bar	120 - 20	(gal 31 - 290 psi)	
Pompa schiumogeni	l/min - bar	30-30	(gal 15 - 435 psi)	
Pompa scartatrice	l/min - bar	15-150	(gal 4 - 2175 psi)	

Fig.2 - tabella caratteristiche tecniche sonda perforatrice tipo "CMV MK 600F"

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 15 di 17

### 3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

Le perforazioni sono state eseguite a rotazione a "carotaggio continuo", utilizzando in funzione dei terreni da campionare carotieri di tipo semplice e carotieri T6S con corone al widia. Il preforo è stato rivestito con tubazione provvisoria Ø 127mm.

Il tipo di utensile adottato per ogni sondaggio è stato specificato nelle stratigrafie allegate.

## 3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO

### 3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENTRATION TEST)

Le prove di resistenza alla penetrazione "SPT" sono state eseguite secondo le modalità indicate dalle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana" del 1977.

Tali prove si eseguono preferibilmente in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia si possono eseguire in qualsiasi terreno sciolto e su alcune rocce tenere allo scopo di determinare grado di addensamento / consistenza / resistenza.

Si riassumono brevemente le caratteristiche tecniche della prova "SPT":

Campionatore:

- Raymond di diametro esterno 51 mm, diametro interno 35 mm, lunghezza minima 457 mm, con scarpa standard a punta aperta come utensile di penetrazione
- punta conica chiusa di diametro esterno 51 mm e angolo di 60°

Aste collegate al campionatore di diametro esterno 50 mm e peso di 7.5 kg al metro lineare

Dispositivo di battuta avente peso non superiore a 115 Kg, comprende:

- testa di battuta in acciaio avvitata all'estremità della batteria di aste
- massa battente o maglio di 63.5 kg
- dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che assicura una corsa a caduta libera di 76 cm.

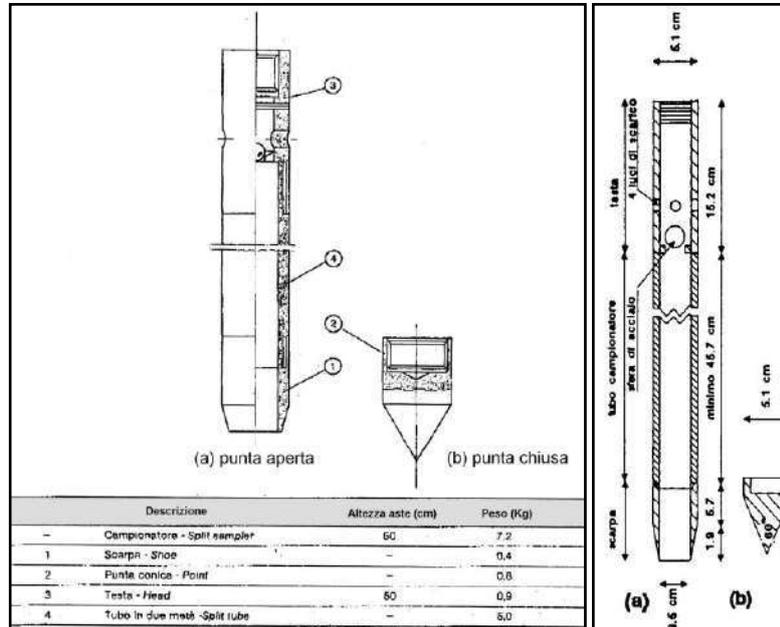


Fig.3 – Campionatore a punta aperta (a) - a punta chiusa (b).

Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la pulizia del foro (tolleranza di +/- 7 cm); la prova consiste nel fare penetrare il campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1, N2, N3).

Con il primo tratto detto avviamento si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con N1 = 100 ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi (N2+N3) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto è:

$$Nspt = N2 + N3$$

che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.

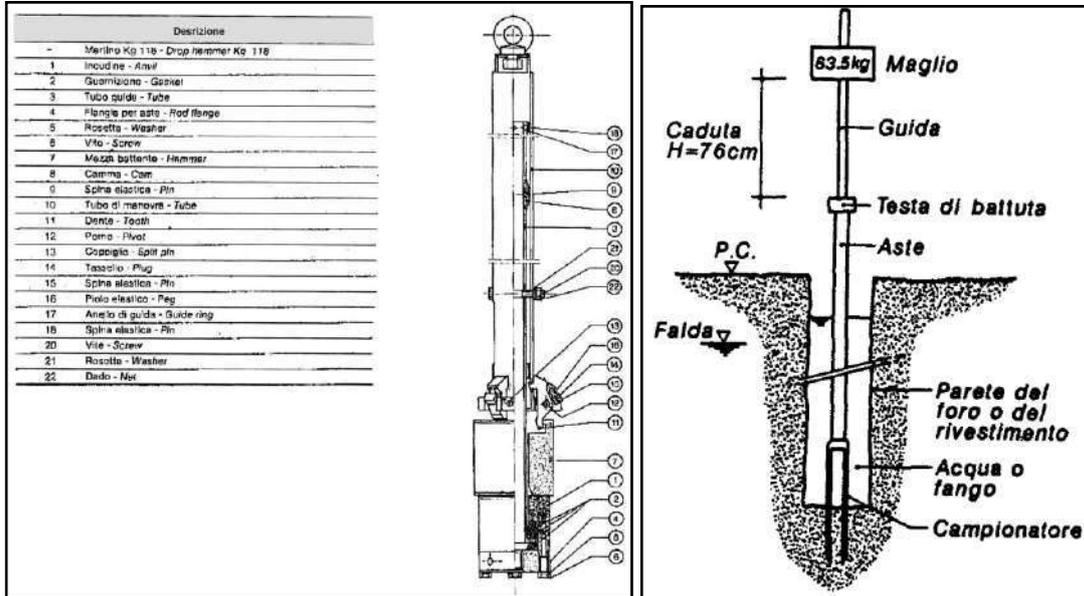
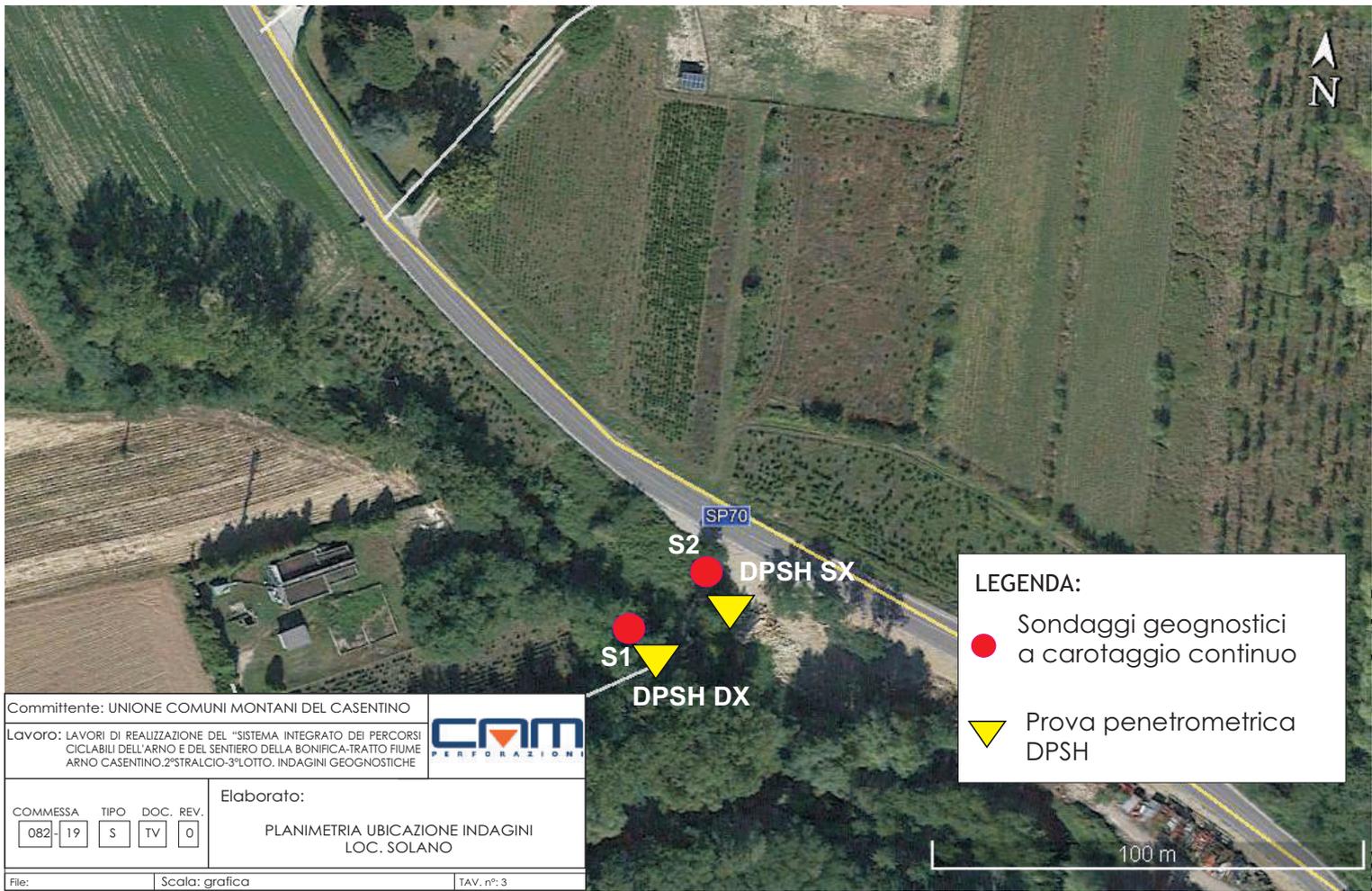


Fig.4- Penetrometro dinamico SPT.

Falconara Marittima, Agosto 2019

Dott. Geol. Paolo Spallacci

**APPENDICE**



Committente: UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO

Lavoro: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO, 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE



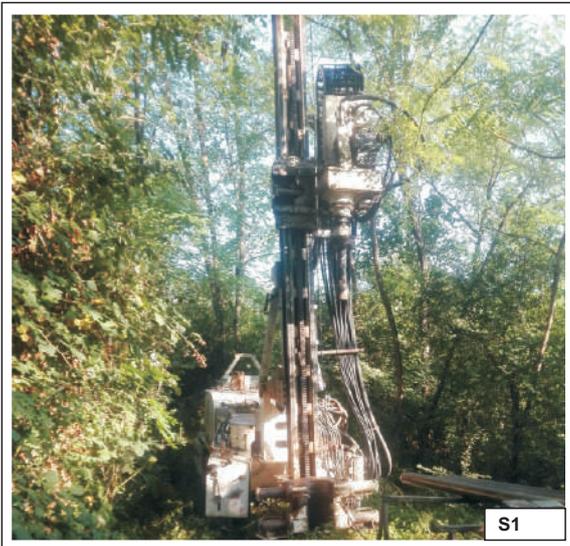
COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
082-19	S	TV	0

Elaborato:

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI  
LOC. SOLANO

File: \_\_\_\_\_ Scala: grafica

TAV. n°: 3





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S1	ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA	CMV MK 600F
Cantiere	SOLANO DX	Rivestimento	127 mm	Il geologo	
Data Inizio	30/09/2019	Data Fine	31/08/2019	Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone	

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD		
1	0.15	0.15		Terreno vegetale sabbioso color marrone con apparati radicali e resti vegetali.	Semplice (101mm)	18.00	4.00 - 4.00 41-R 5cm(P.C) CRSPT1 4.20 - 4.20	10.70 CR1 11.00	80%		
2	1.00	0.85		Sabbie debolmente limose di colore marrone chiaro da scarsamente addensate a sciolte a granulometria medio-fine.							
3	3.00	2.00		Sabbie a granulometria medio-fine da sciolte a scarsamente addensate con ghiaia poligenica ed eteromorfa sub-arrotondata con dimensione dei clasti maggiori di 1-2 centimetri e talvolta maggiori anche di 4-5 centimetri.							
4	3.55	0.55		Livello litoideo di natura arenacea							
5				Ghiaie sub-arrotondate di natura prevalentemente arenacea eteromorfe con dimensioni maggiori di 2-3 centimetri e talvolta anche di 7-8 centimetri in abbondante matrice sabbioso-limosa color marrone e talvolta ocreo per alterazione.	T6S	18.00	7.00 - 7.00 22-38-R 5cm(P.C) CRSPT2 7.35 - 7.35	15.00 CR2 15.40	90%		
6				Alternanza di calcari, calcari-marnosi color grigiastro, fratturati ed argilliti di color grigiastro-nerastro a struttura scagliosa.							
7				Da metri 11.20 a metri 13.20 livello alterato con patine di ossidazione ocree.							
8				A metri 12.00 frattura sub-verticale con patine di ossidazione di color ocreo sui giunti di frattura.							
9				Da metri 15.00 a metri 15.70 livello arenaceo.							
10	9.50			A metri 16.50 fratture inclinate di circa 40°							
11				Alternanza di calcari, calcari marnosi grigiastri ed arenarie grigiastre poco fratturate.						17.40 CR3 17.80	100%
12											
13											
14											
15					19.50 CR4 20.00	100%					
16											
17											
18	18.00										
19		2.00									
20	20.00										

Sondaggio n° **S1 SOLANO DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S1 SOLANO DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



### PROVA .DPSH Solano Dx

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 27/08/2019  
 Profondità prova 2,80 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	5	0,851	4,38	5,15	219,16	257,60
0,60	12	0,847	9,61	11,35	480,61	567,42
0,80	15	0,793	11,25	14,19	562,69	709,27
1,00	13	0,790	9,71	12,29	485,47	614,70
1,20	19	0,786	14,13	17,97	706,39	898,41
1,40	26	0,733	18,02	24,59	900,99	1229,41
1,60	48	0,630	26,41	41,95	1320,33	2097,25
1,80	44	0,626	24,08	38,45	1204,10	1922,48
2,00	48	0,623	26,14	41,95	1306,97	2097,25
2,20	40	0,620	21,68	34,95	1083,80	1747,71
2,40	37	0,667	21,57	32,33	1078,53	1616,63
2,60	38	0,664	20,50	30,86	1024,99	1543,10
2,80	>50					

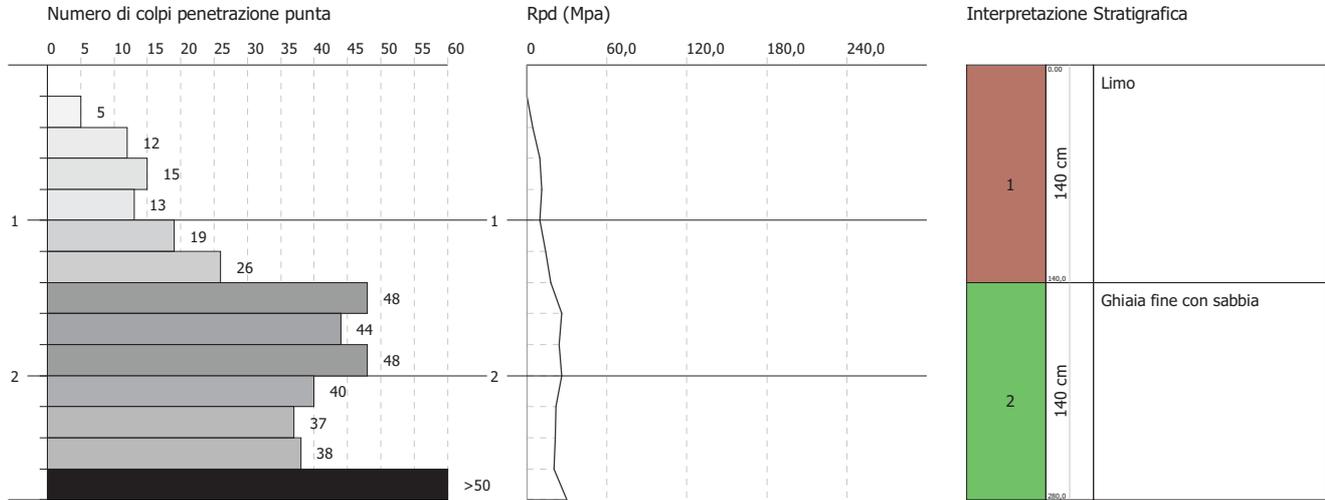
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1,4	12,86	12,22	Coesivo	1,47	18,93	Limo
2,8	45	38,46	Incoerente	1,47	66,24	Ghiaia fine con sabbia

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Solano Dx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Solano Dx  
 Località: Arno Casentino

Data: 27/08/2019

Scala 1:50





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S2 ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA CMV MK 600F
Cantiere	SOLANO SX	Rivestimento	127 mm	Il geologo
Data Inizio	29/08/2019	Data Fine	29/08/2019	Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD
1	1.20	1.20		Riporto antropico costituito da clasti poligenici centimetrici, sabbia grossolana e frammenti lateritici talvolta centimetrici.	Semplice (101mm)				
2	1.80	1.80		Terreno detritico costituito da sabbia addensata alterata di color ocreo e clasti centimetrici di natura calcareo-arenacea.					
3	3.00	7.50		Ghiaie poligeniche (prevalentemente di natura arenacea) con dimensioni maggiori di 2-3 centimetri e talvolta maggiori di 6-7 centimetri alterate di colore ocreo in matrice sabbioso-limosa color marrone.					
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10	10.50	4.50		Alternanza di calcari, calcari-marnosi color grigiastro, fratturati ed argilliti di color grigiastro-nerastro a struttura scagliosa.					
11									
12									
13									
14	15.00	5.00		Alternanza di calcari, calcari marnosi grigiastri ed arenarie grigiastre poco fratturate.					
15									
16									
17									
18									
19	20.00					15.30 CR1 15.70	50%		
20						17.00 CR2 17.50	100%		
							70%		
							90%		

Sondaggio n° **S2 SOLANO SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S2 SOLANO SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



**PROVA DPSH Solano Sx**

Strumento utilizzato      DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data    26/08/2019  
 Profondità prova          1,80 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	7	0,851	6,14	7,21	306,83	360,64
0,60	13	0,797	9,80	12,29	489,92	614,70
0,80	15	0,793	11,25	14,19	562,69	709,27
1,00	15	0,790	11,20	14,19	560,15	709,27
1,20	20	0,786	14,87	18,91	743,57	945,70
1,40	35	0,683	22,60	33,10	1130,12	1654,97
1,60	45	0,630	24,76	39,32	1237,81	1966,17
1,80	>50					

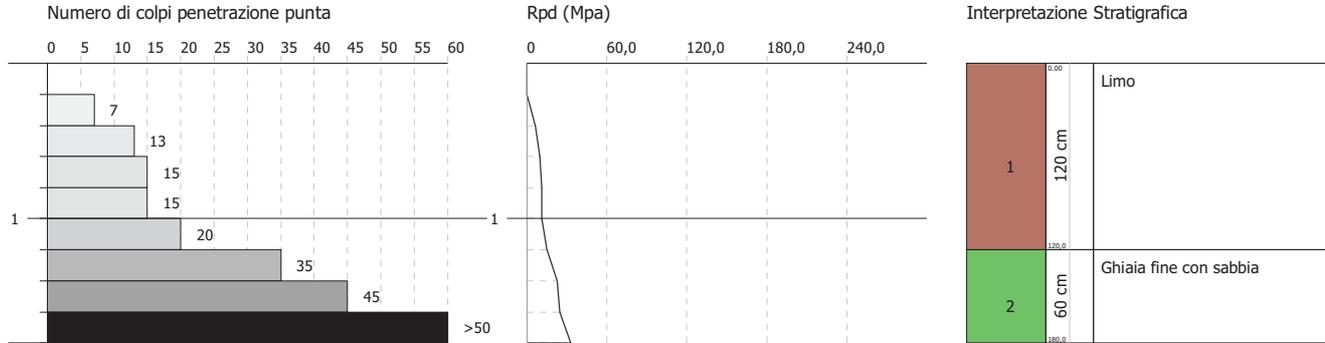
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1,2	11,67	11,13	Coesivo	1,47	17,18	Limo
1,8	46,67	41,62	Incoerente	1,47	68,7	Ghiaia fine con sabbia

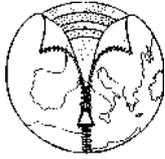
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Solano Sx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Solano Sx  
 Località: Arno Casentino

Data: 26/08/2019

Scala 1:50





FARINI LUIGI - GEOLOGO

Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR

tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S1 DX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Località: Torrente Solano - Destra idrografica  
Lavoro: Passerella su Torrente Solano  
Data: 29/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5

H = altezza di caduta (cm): 75

Profondità della falda = 4,5 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
4,2	120	90	1,06	95
7,2	98	93	0,89	83

N = numero colpi originale

N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)

CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)

N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	Id	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
4,15	GW-GP	21	96	50,1	34,9	-	-	0,4765	80,1	64,2	262,8	301	34,91
7,15	GW-GP	21	90	49,3	36,1	-	-	0,4645	82,4	59,7	284,2	327	31,32

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

Id = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_vc = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

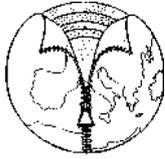
M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm<sup>2</sup>) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)



FARINI LUIGI - GEOLOGO  
Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR  
tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S2 SX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Località: Torrente Solano - Sinistra idrografica  
Lavoro: Passerella su Torrente Solano  
Data: 29/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5  
H = altezza di caduta (cm): 75  
Profondità della falda = 2,5 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
3,2	28	21	1,28	27
6,2	102	87	1,03	89
9,2	120	114	0,88	100
12,2	98	98	0,78	77

N = numero colpi originale  
N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)  
CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)  
N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	Id	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
3,15	GW-GP	21	51	41,8	34,5	-	-	0,352	24,3	21,1	108,8	210	15,54
6,15	GW-GP	21	93	49,8	35,4	-	-	0,472	77,7	61,3	265,2	311	33,05
9,15	GW-GP	21	98	50,1	35,6	-	-	0,4765	97,3	70,4	325,9	350	36,25
12,15	GW-GP	21	86	48,7	36,8	-	-	0,4555	85,9	58,4	309,9	354	29,58

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

Id = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%)- da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)

INDAGINI GEOFISICHE:

INDAGINI MASW

POSTAZIONI HVSr



# **PROVINCIA DI AREZZO**

## **“STUDIO TRAMITE MASW E RILIEVO H/V SUL TORRENTE SOLANO”**



### **RELAZIONE GEOFISICA**

## PREMESSA

Per la caratterizzazione di un sitolungo il torrente Solano dove si dovrà costruire una passerella, abbiamo eseguito un 2 masw ed 2 rilievi tromometrici.

Le indagini si sono eseguite sotto la direzione tecnica del Dott. Geol. Farini Luigi.

Si sono esaminate le due sponde del torrente, una è stata rinominata Dx e l'altra Sx. Su ciascun lato abbiamo eseguito un masw ed un rilievo tromometrico.



## **METODOLOGIA USATA PER L'ANALISI DEI DATI**

Per analizzare la risposta di sito e determinare la pericolosità sismica in base alla normativa vigente si sono utilizzati due distinti metodi geofisici:

**SISMICA A RIFRAZIONE**-Si studia l'andamento del sottosuolo tramite la propagazione dell'onda rifratta.

Si individuano così spessori, velocità e geometrie dei vari sismo strati.

**MASW**-Si ricostruisce la stratigrafia (monodimensionale) attraverso lo studio dell'onda di Rayleigh o di Love.

Ponendo più Masw corti uno accanto all'altro si ricostruisce un profilo in VS.

**H/V**-Si ricava lo spettro di risposta di sito.

Se la sismica a rifrazione o il Masw riesce ad individuare il bedrock sismico, i dati dell'H/V (che rispetto alla sismica a rifrazione è una metodologia meno precisa) serviranno per confermare i dati acquisiti e per aggiungere alcune interessanti informazioni (spettro di risposta di sito).

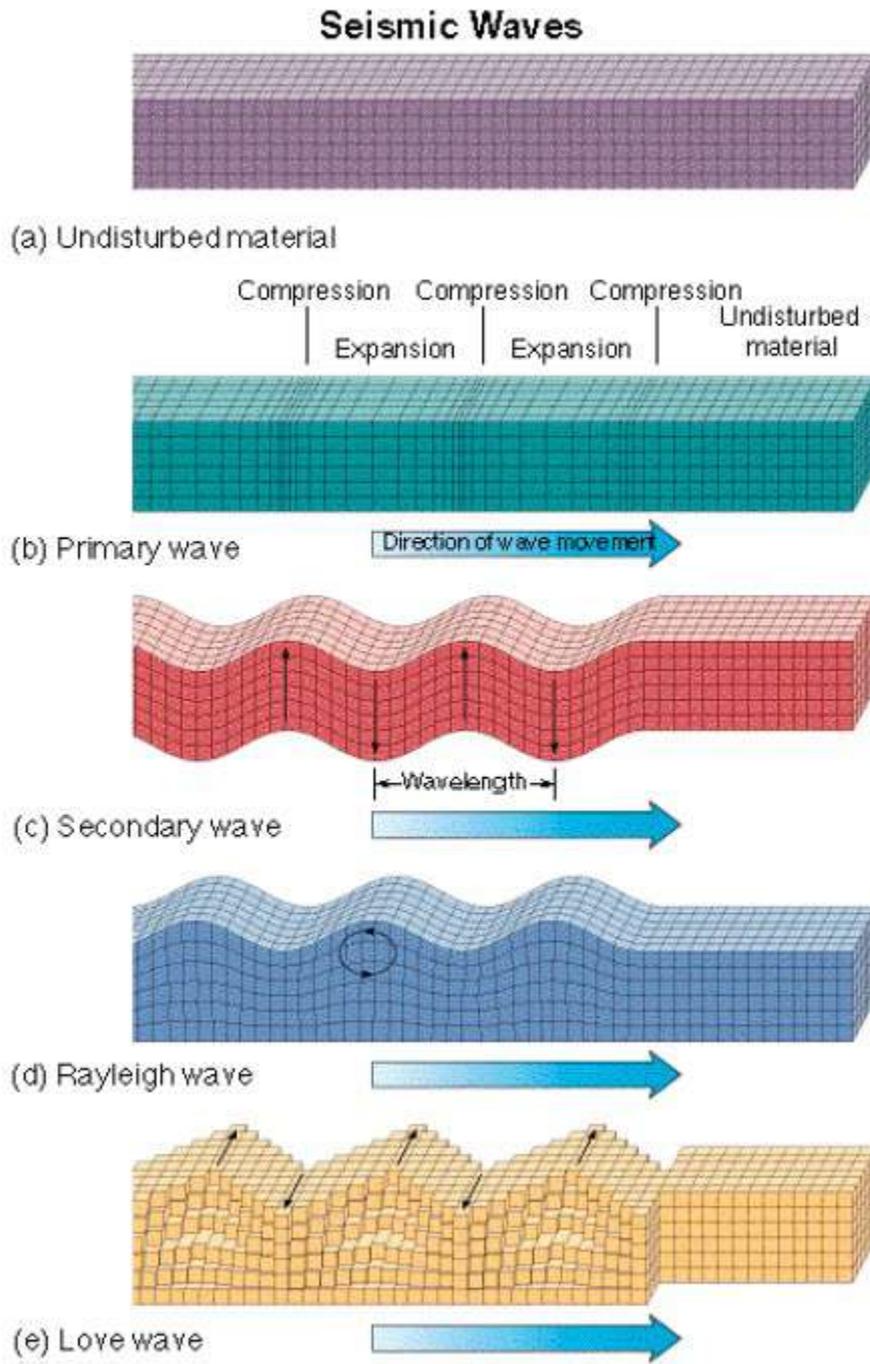
In questo caso, con la rifrazione in p, la velocità dei primi livelli è indicata dal MASW e le geometrie (è gli spessori) dalla rifrazione

Nei casi in cui la rifrazione o il Masw non arrivi ad intercettare il bedrock per i motivi più disparati ( stese corte o inversioni o terreni molto allentati) potremo chiudere l'indagine usando i dati provenienti dall' H/V.

In pratica, vincolando il modello 1D generante lo spettro di risposta ai dati in nostro possesso e provenienti dalla sismica e dal MASW, possiamo arrivare a fare delle presupposizioni abbastanza veritiere su quelli che sono gli orizzonti sismo stratigrafici più profondi.

L'H/V viene quindi usato per rifinire e completare le informazioni provenienti dalle altre indagini (dirette o indirette) eseguite.

**Vari tipologie di onde sismiche**



## STRUMENTAZIONE USATA PERI I RILIEVI

### MASW

Sismografo AMBROGEO ECHO24-2010

Geofoni verticali da 4,5 hz

Massa battente (mazza)



Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

## **SOFTWARE USATO PER LA VISUALIZZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DEI DATI**

### **Acquisizione dei dati**

*SISMOPC 1.0-PASI  
AMROGEO*

### **Elaborazione e filtraggio**

<i>Visual Sunt 20</i>	<i>Wgeosoft -filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>Seismic Unix</i>	<i>Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>WinMasw Pro</i>	<i>Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione</i>
<i>Grilla</i>	<i>Tromino-H/V</i>
<i>Geopsy</i>	<i>Software Libero-H/V</i>
<i>Winsism 11.2</i>	<i>Wgeosoft-sismica a rifrazione</i>
<i>Rayfract</i>	<i>Intelligent re source-sismica a rifrazione</i>

### **Modelli 1 D e rischio sismimico**

<i>Deep Soil</i>	<i>software libero-Risposta di sito modellazione 1D</i>
<i>Rexel</i>	<i>software libero-risposta di sito-terremoto di progetto</i>
<i>Shake 2000</i>	<i>Geo Motions-risposta di sito -modellazione 1D -liquefazione ecc.</i>
<i>Ciclic 1D</i>	<i>software libero-liquefazione</i>

**TUTTI I SOFTWARE COMMERCIALI IN NOSTRO POSSESSO SONO ORIGINALI E DOTATI DI ORIGINALE LICENZA**

## RILIEVI TROMOMETRICI

### Tromino Micromed



<b>Number of channels</b>	3+1 analog
<b>Amplifiers</b>	all channels with differential inputs
<b>Noise</b>	< 0.5 $\mu\text{V}$ r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Input impedance</b>	$10^6$ Ohm
<b>Frequency range</b>	DC - 360 Hz
<b>Sampling frequency</b>	16384 Hz per channel
<b>Oversampling frequency</b>	32x, 64x, 128x
<b>A/D conversion</b>	$\geq 24$ bit equivalent
<b>Max analog input</b>	51.2 mV (781 nV/digit)

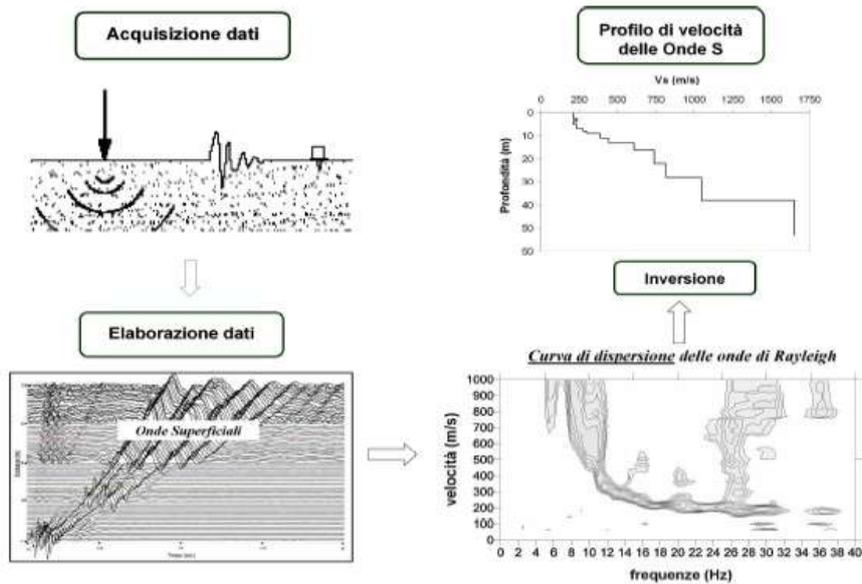
## CENNI TEORICI MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Nel metodo di indagine passivo si registra il rumore di fondo.



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di

sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

### **STRUMENTAZIONE USATA**

Ambrogeo2010SU

Numero dei canali 12

A/D conversione 24 bit

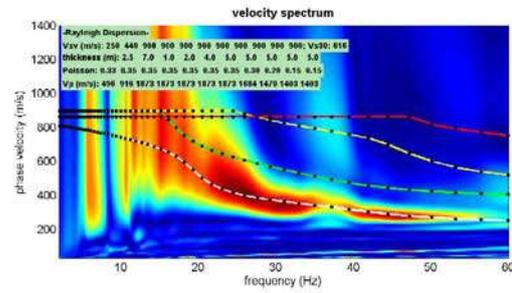
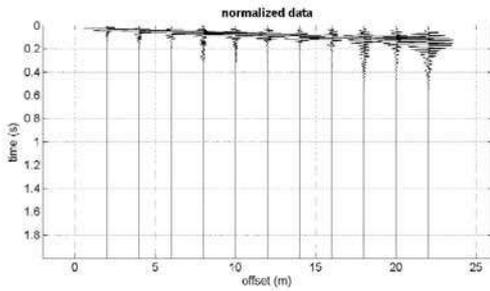
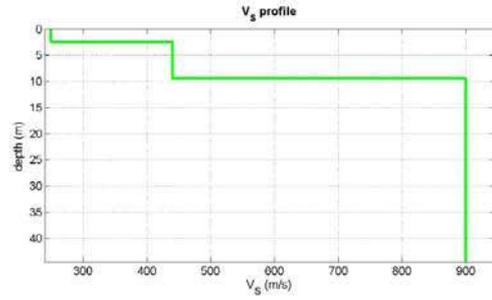
Geofoni da 4.5 hz verticali

### **SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE**

Generazione di onde P:

massa battente (mazza da 8 kg)

**SOLANO SX**



**Mean model**

Vs (m/s): 250, 440, 900, 900, 900, 900, 900, 900, 900, 900, 900

Thickness (m): 2.5, 7.0, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 5.0, 5.0, 5.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.88 2.03 2.21 2.21 2.21 2.21 2.21 2.18 2.15 2.14 2.14

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 118 394 1787 1787 1787 1787 1787 1787 1766 1739 1730 1730

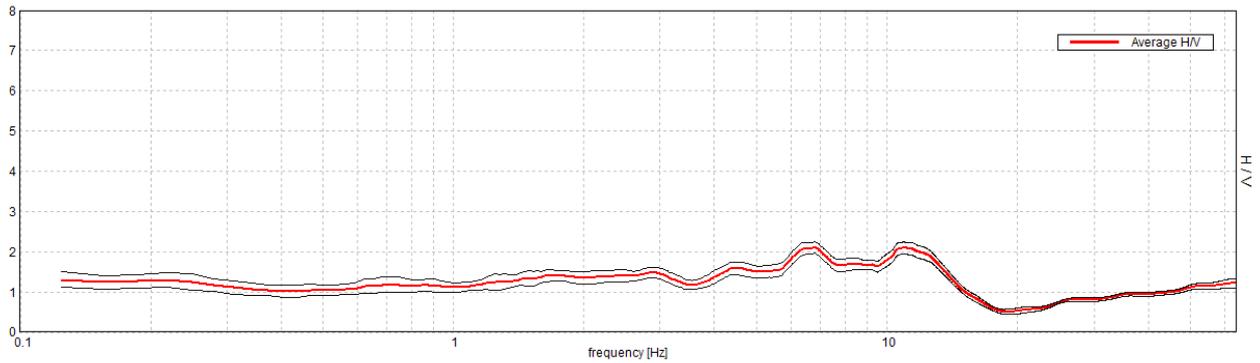
Vs30 (m/s): 616

Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 08:26:44 Fine registrazione: 01/08/19 08:48:44  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

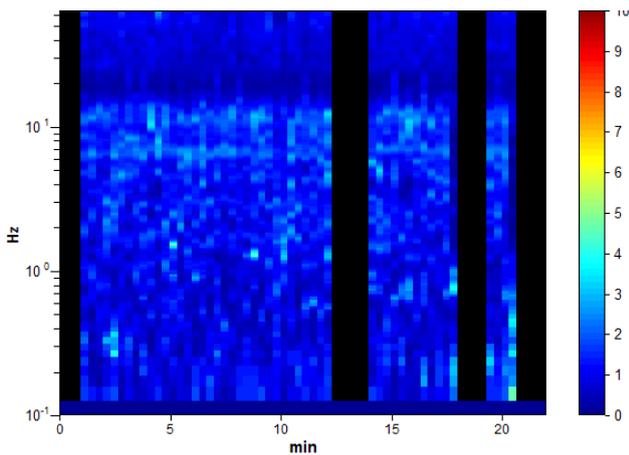
Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 76% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

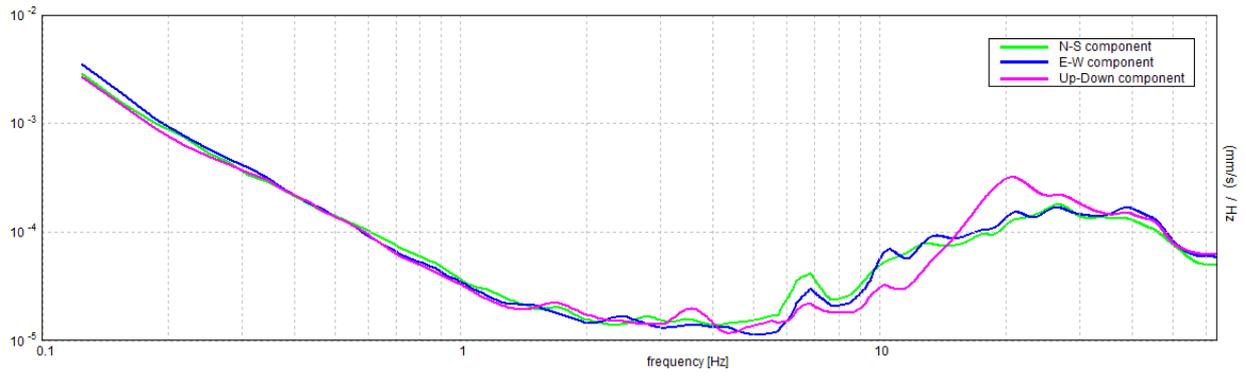
Picco H/V a  $6.81 \pm 8.22$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



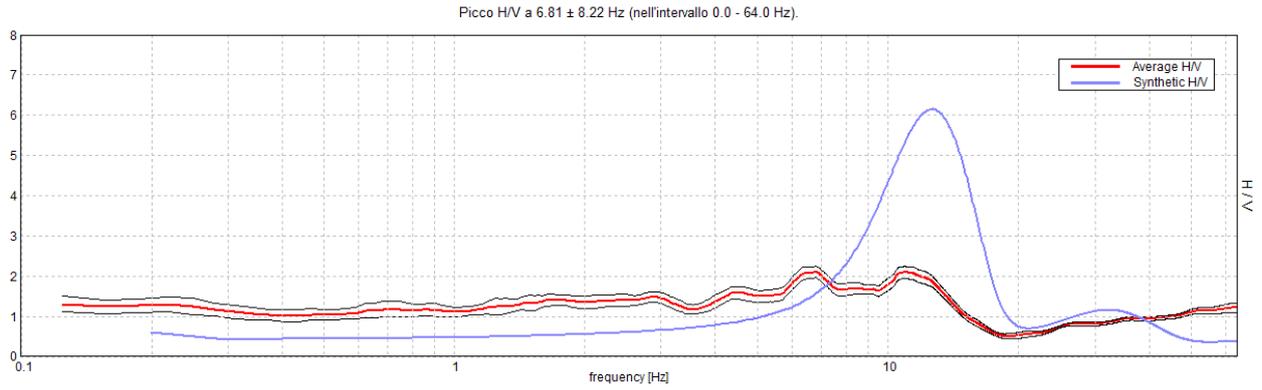
### SERIE TEMPORALE H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

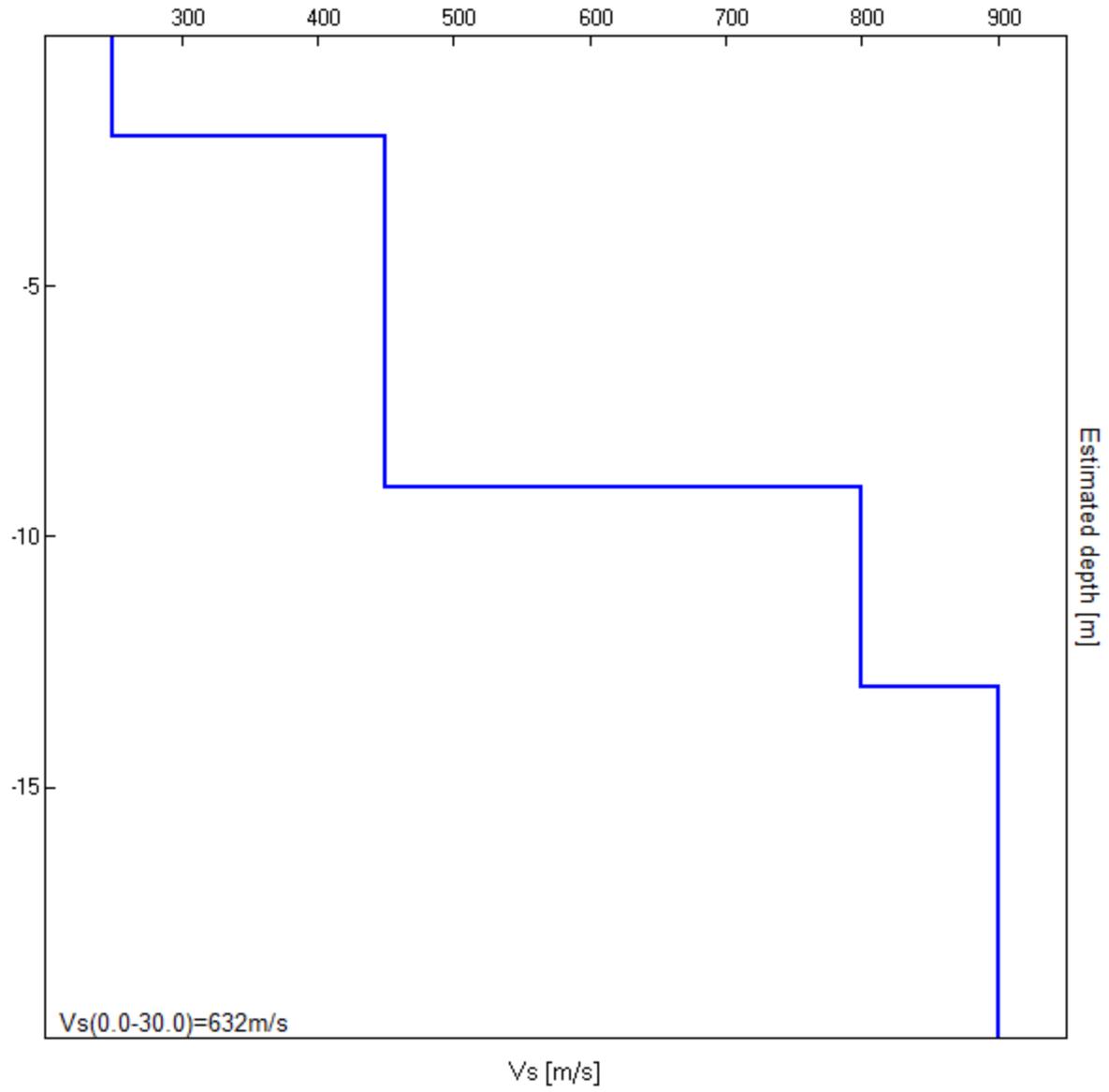


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	250	0.42
9.00	7.00	450	0.42
13.00	4.00	800	0.42
15.00	2.00	900	0.42
inf.	inf.	900	0.42

$V_s(0.0-30.0)=632\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $6.81 \pm 8.22$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.81 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$6812.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 328	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

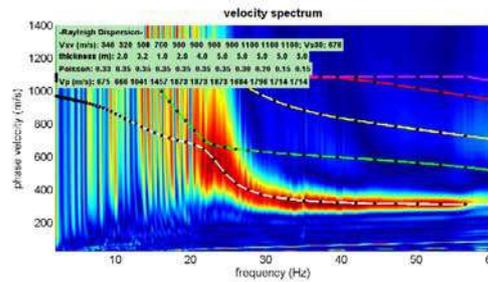
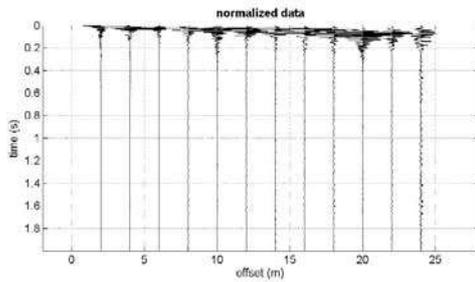
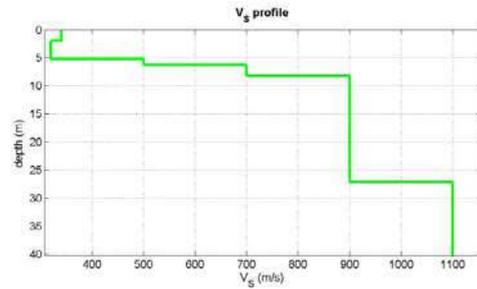
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	14.969 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.10 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 1.20638  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$8.21845 < 0.34063$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.1445 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**SOLANO DX**



**Mean model**

Vs (m/s): 340, 320, 500, 700, 900, 900, 900, 900, 1100, 1100, 1100

Thickness (m): 2.0, 3.2, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 5.0, 5.0, 5.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.96 1.96 2.06 2.15 2.21 2.21 2.21 2.21 2.18 2.20 2.18 2.18

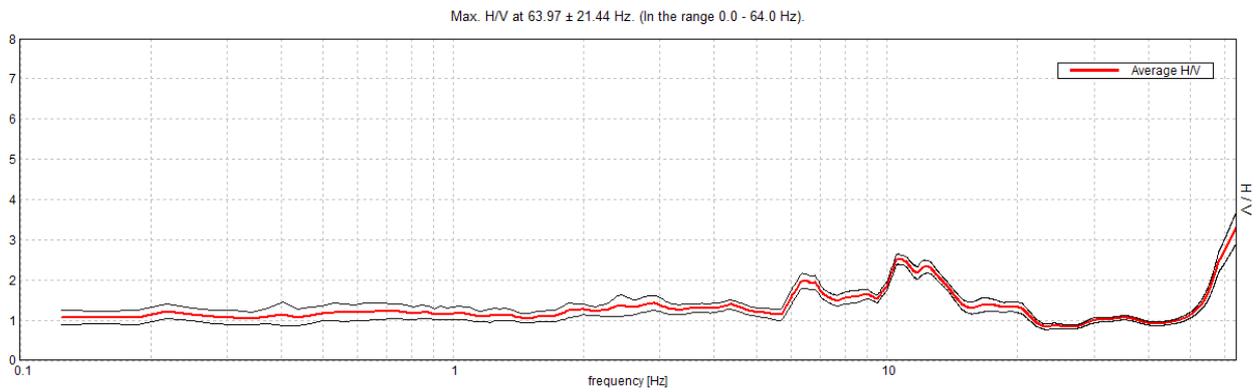
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 226 200 516 1051 1787 1787

1787 1766 2658 2644 2644

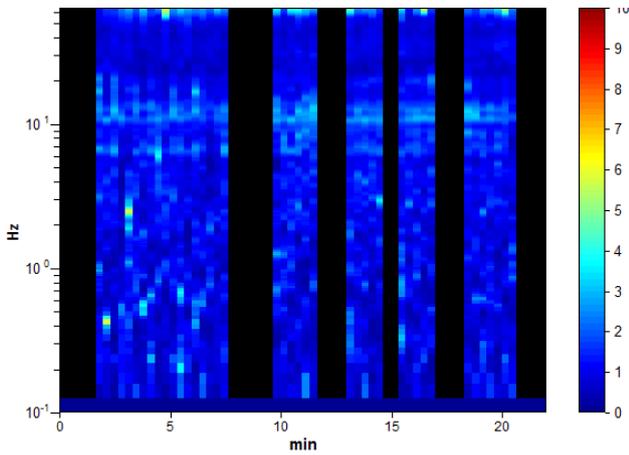
Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 08:49:15 Fine registrazione: 01/08/19 09:11:15  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

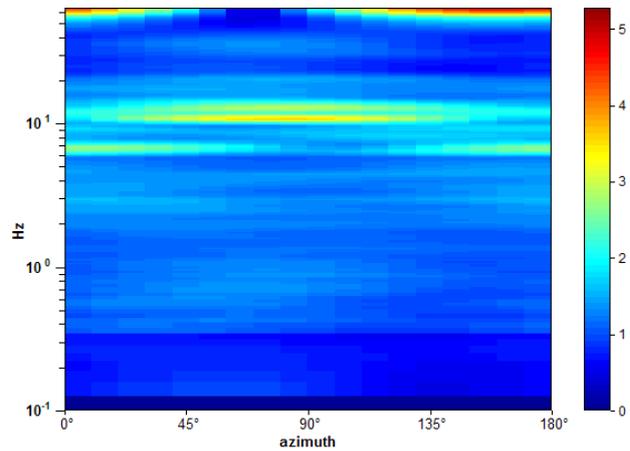
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



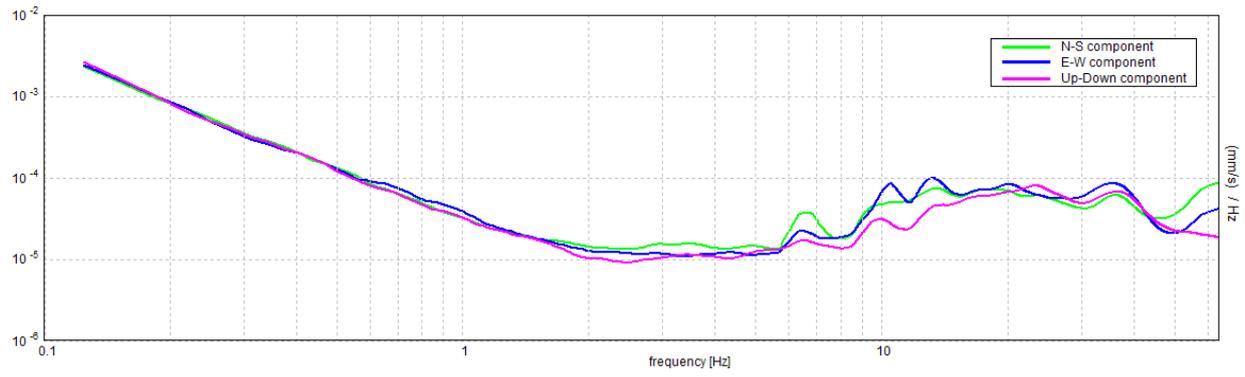
### SERIE TEMPORALE H/V



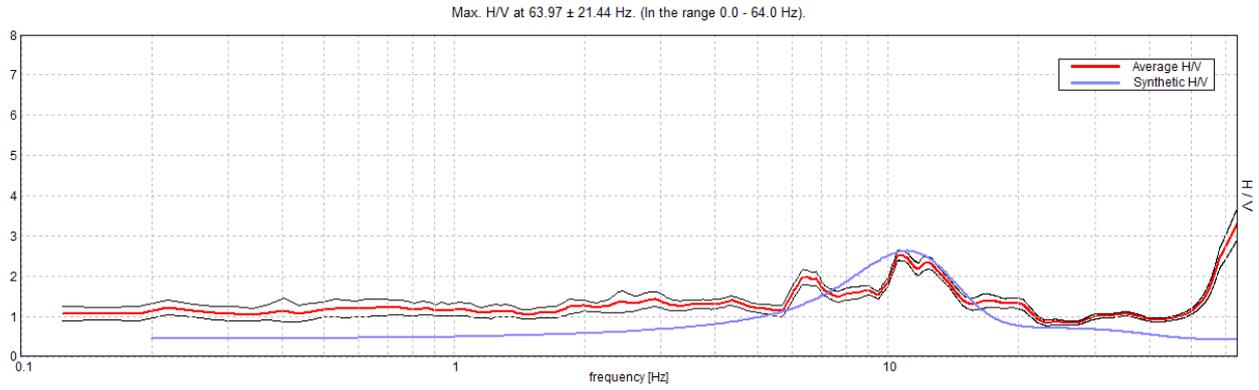
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

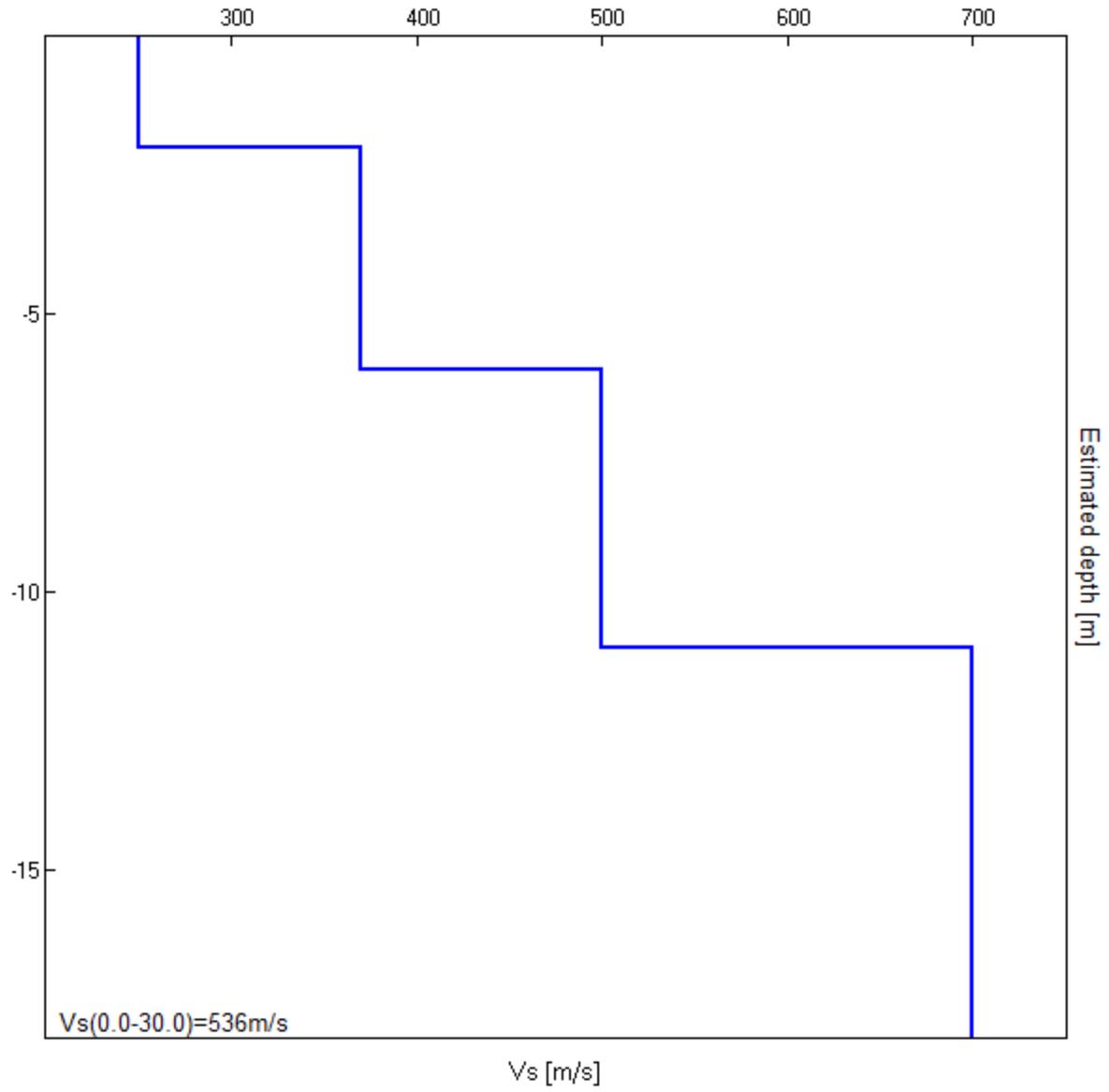


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	250	0.40
6.00	4.00	370	0.40
11.00	5.00	500	0.40
13.00	2.00	700	0.40
inf.	inf.	700	0.40

Vs(0.0-30.0)=536m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $63.97 \pm 21.44$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$63.97 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$52454.4 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1026	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	54.875 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$3.30 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.33516  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$21.44002 < 3.19844$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.3852 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**AREZZO 29-07-2019**

**GALILEO GEOFISICA**



ANALISI LABORATORIO GEOTECNICO





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 427/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 154/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell' Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Solano

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

SICR1 Profondità 10.7 - 11.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



Rapporto di prova n. 427/2019

Provino: S1CR1 Profondità 10.7 - 11.0 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: arenaria alternata ad argillite marnosa, colore grigio scuro - nerastro



**provino A**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.99	71.14	51.25	280.01	1.75

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.35	1.01	0.35	23.1	23.1	8.1

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 427/2019

Provino: S1CR1 Profondità 10.7 - 11.0 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.98	71.28	52.18	280.57	1.50

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.30	1.02	0.30	23.3	23.1	7.0

provino C

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.96	71.08	51.23	270.61	1.50

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.30	1.01	0.30	23.1	22.6	6.9

provino D

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.76	70.92	49.38	257.65	1.25

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.25	0.99	0.25	22.8	23.2	5.6

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 427/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Solano

Campione	S1Cr1	S1Cr1	S1Cr1	S1Cr1
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	8.1	7.0	6.9	5.6
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.1	23.1	22.6	23.2



*Michele Colan*



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 428/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 154/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Solano

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S1CR3 Profondità 17.4 - 17.8 m

### Prove eseguite

- 1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)
- 2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



Rapporto di prova n. 380/2019

Provino: S1CR3 Profondità 17.4 - 17.8 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: argillite, colore grigio - grigio scuro



provino : A

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)
2.98	70.13	53.45	307.93	5.00

Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C	$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.02	1.03	1.05	23.6	26.2	24.7

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 380/2019

Provino: S1CR3 Profondità 17.4 - 17.8 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.33	70.25	54.33	332.44	6.00

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.22	1.04	1.26	23.7	25.3	29.9

provino C

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.34	69.69	56.52	361.8	3.40

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.70	1.06	0.74	24.1	27.8	17.8

provino D

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.18	69.85	53.35	333.00	4.50

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.92	1.03	0.95	23.5	26.8	22.3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 428/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Solano

Campione	S1Cr3	S1Cr3	S1Cr3	S1Cr3
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	24.7	29.9	17.8	22.3
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	26.2	25.3	27.8	26.8



*Michele Colan*



## Rapporto di prova n. 429/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 154/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Solano

CAMPIONI: n. 4 spezzoni di roccia

S1CR2 Profondità 15.0 - 15.4 m

S1CR4 Profondità 19.5 - 20.0 m

S2CR1 Profondità 15.3 - 15.7 m

S2CR2 Profondità 17.0 - 17.5 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Prova a compressione uniassiale (ASTM 2938-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 6 pagine.



**Rapporto di prova n. 429/2019**

**Provino: S1CR2 Profondità 15.0 - 15.4 m**

**Prova a compressione uniassiale - ASTM 2938-95**

**Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: arenaria, colore grigio scuro



Il presente rapporto di prova si compone di 6 pagine.

Altezza (cm)	Diametro (cm)	Peso (gr)	Carico a rottura (kN)
13.76	7.09	1335	192.5
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>Resistenza a rottura (MPa)</b>	
	24.1	48.8	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi

*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

*Michele Caloni*



**Rapporto di prova n. 429/2019**

**Provino: S1CR4 Profondità 19.5 - 20.0 m**

**Prova a compressione uniassiale - ASTM 2938-95**

**Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: marna argillosa, colore grigio, grigio scuro da 20 cm



Il presente rapporto di prova si compone di 6 pagine.

Altezza (cm)	Diametro (cm)	Peso (gr)	Carico a rottura (kN)
13.51	7.13	1400	287.5
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>Resistenza a rottura (MPa)</b>	
	25.5	72.1	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi

*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

*Michele Caloni*



**Rapporto di prova n. 429/2019**

**Provino: S2CR1 Profondità 15.3 - 15.7 m**

**Prova a compressione uniaassiale - ASTM 2938-95**

**Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: arenaria, colore marrone oliva



Provino 1			
Altezza (cm)	Diametro (cm)	Peso (gr)	Carico a rottura (kN)
14.08	7.03	1312	177.8
		<b>Resistenza a rottura (MPa)</b>	
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	<b>45.8</b>	
	23.6		

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**Rapporto di prova n. 429/2019**

**Provino: S2CR2 Profondità 17.0 - 17.5 m**

**Prova a compressione uniassiale - ASTM 2938-95**

**Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: arenaria, colore grigio



Provino 1			
Altezza	Diametro	Peso	Carico a rottura
(cm)	(cm)	(gr)	(kN)
13.89	7.06	1308	200.9
	$\gamma$	<b>Resistenza</b>	
	(kN/m <sup>3</sup> )	<b>a rottura</b>	
	23.6	(MPa)	
		51.3	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 6 di 6

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 429/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Solano

Campione	S1Cr2	S1Cr4	S2Cr1	S2Cr2
<b>Prova a compressione uniassiale</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	48.8	72.1	45.8	51.3
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.1	25.5	23.6	23.6



*Michèle Calmo*



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

## Certificati di Prova n. 1633-1635/2019

Montelupo Fiorentino, lì 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 154/19 del 11/09/19

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Solano

DATA ESECUZIONE PROVE: 01/10/19 - 14/10/19

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

CAMPIONI:

S2SPT4 profondità 12.00 - 12.45 m

### Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 6 - Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1633/2019**

**CAMPIONE S2SPT4** profondità 12.00 - 12.45 m

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Solano

Montelupo Fiorentino, lì 30/10/2019

V.A. n. 154/19 del 11/09/19

Data apertura campione: 01/10/19

**Descrizione del campione**

Campione rimaneggiato da prova SPT  
da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

Limo sabbioso debolmente argilloso con abbondanti elementi litici  
colore marrone oliva chiaro

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, granulometria e taglio



Classe e grado di qualità (sec. A.G.I.)

Campione rimaneggiato Q-3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1633/2019**

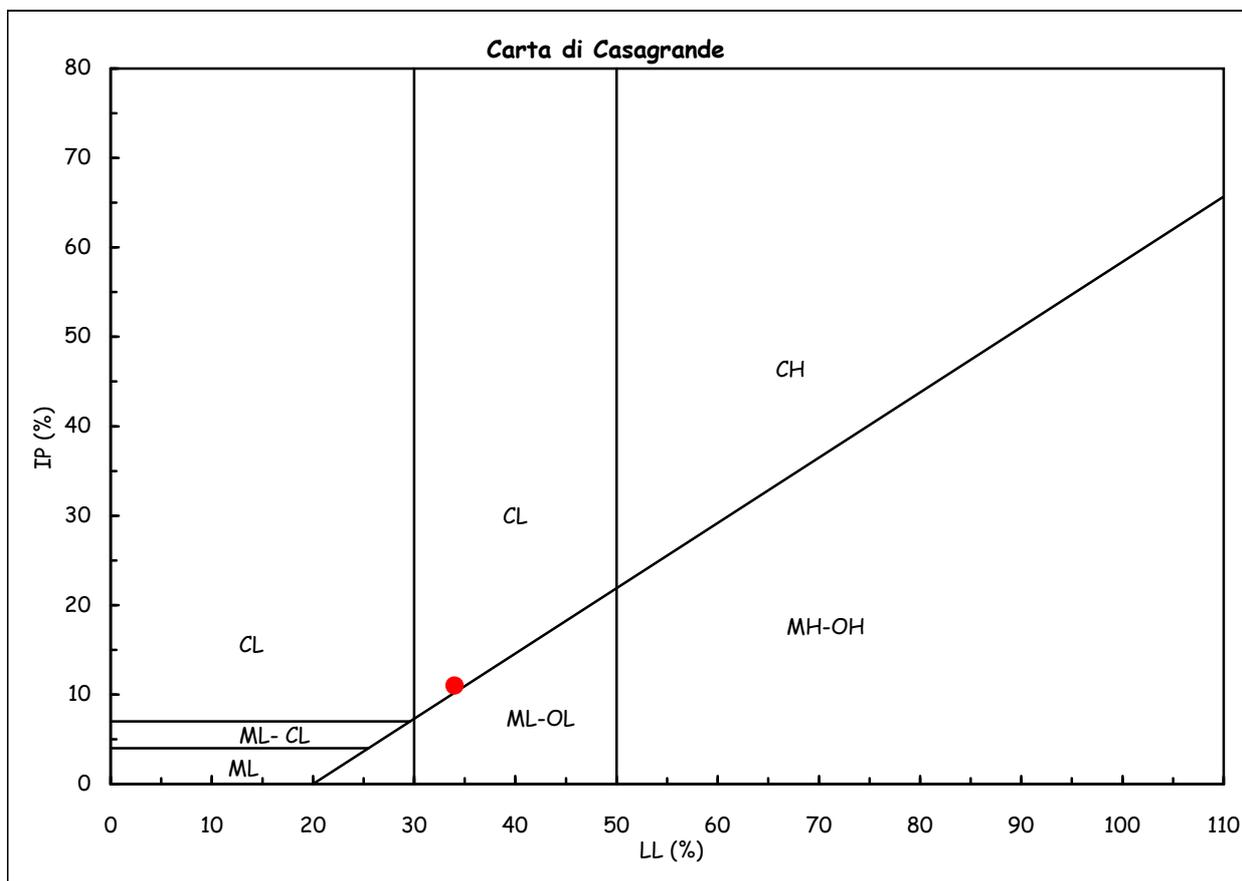
**CAMPIONE S2SPT4** profondità 12.00 - 12.45 m  
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Solano

Montelupo Fiorentino, lì 30/10/2019  
V.A. n. 154/19 del 11/09/19  
Data prova: 01/10/19 - 08/10/19

**Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)**  
**Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)**

Contenuto d'acqua (Wn) =	16.91%	Limite di liquidità (LL) =	34%
Limite di plasticità (LP) =	23%	Indice di plasticità (IP) =	11%
Indice di consistenza (Ic) =	1.55	Indice di attività (Iat) =	1.02

CL = argille inorganiche di  
media plasticità



**Classificazione UNI 10006**

Gruppo: A6

Indice di gruppo: 2

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1634/2019**

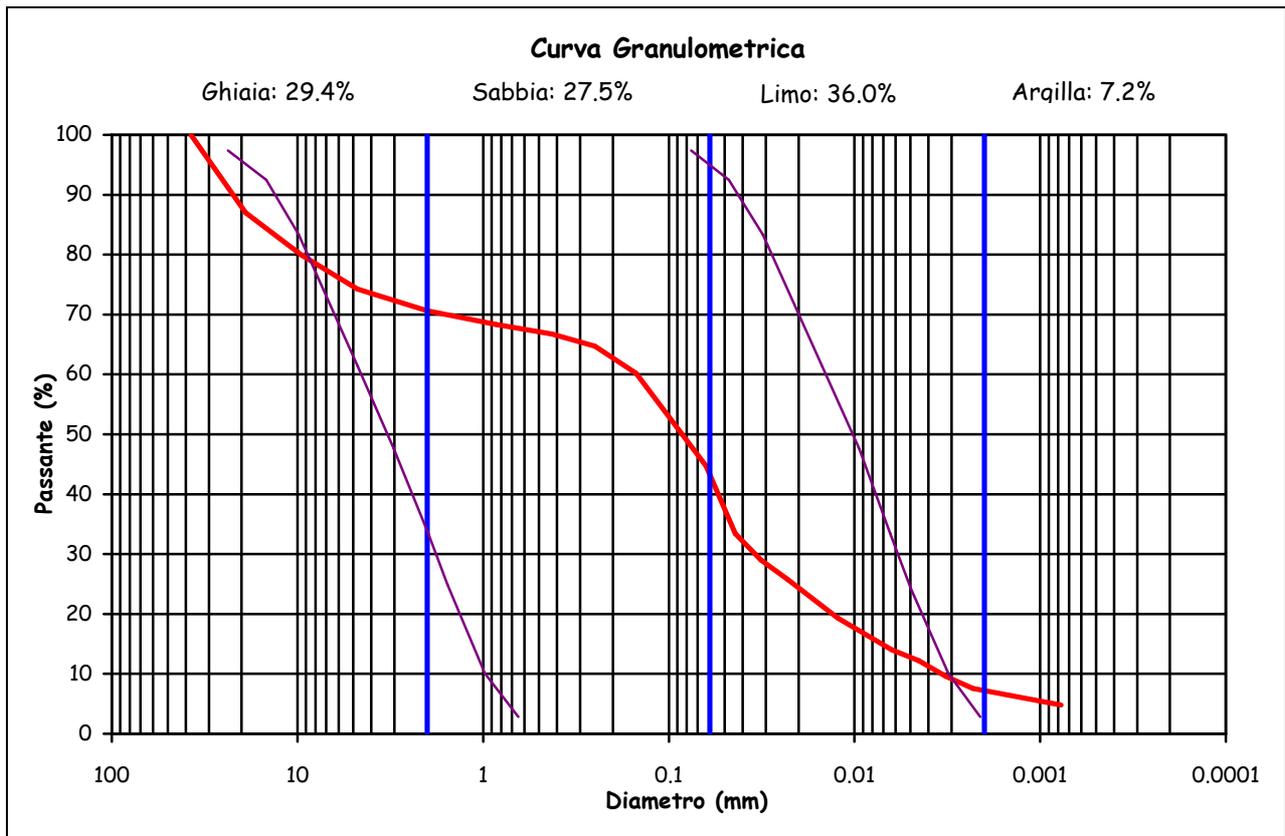
<b>CAMPIONE S2SPT4</b> profondità 12.00 - 12.45 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 154/19 del 11/09/19
LOCALITA': Solano	Data prova: 01/10/19 - 08/10/19

**Analisi granulometrica**

Setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
37.5	100	0.0439	33.4
19	87.0	0.0319	29.0
9.5	79.9	0.0230	25.8
4.75	74.3	0.0123	19.3
2	70.6	0.0063	14.0
0.850	68.3	0.0045	12.2
0.425	66.7	0.0032	9.6
0.250	64.7	0.0023	7.6
0.150	60.2	0.0008	4.8
0.063	44.7		



Definizione secondo A.G.I.:

Limo con ghiaia e sabbia debolmente argilloso

Fusi granulometrici critici nei confronti della liquefazione (Tsuchida, 1970)

Lo sperimentatore  
 Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
 Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1634/2019**

**CAMPIONE S2SPT4** profondità 12.00 - 12.45 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

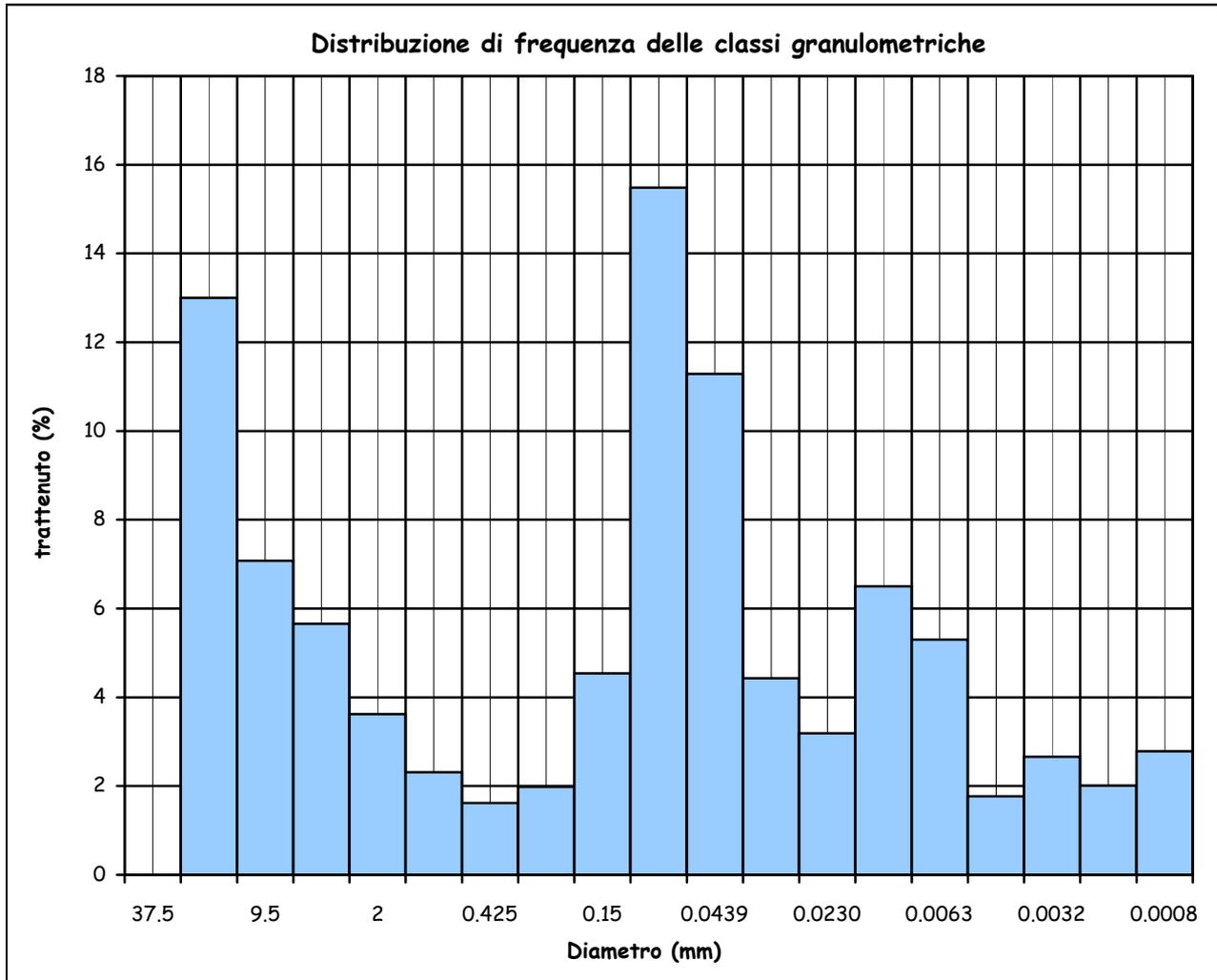
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 154/19 del 11/09/19

LOCALITA': Solano

Data prova: 01/10/19 - 08/10/19

**Analisi granulometrica**



Coefficiente di uniformità (Cu) = 43.4

Coefficiente di curvatura (Cc) = 2.3

Mediana 0.0928

Moda 0.0630

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloi

**CERTIFICATO DI PROVA N.1635/2019**

<b>CAMPIONE S2SPT4</b> profondità 12.00 - 12.45 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 154/19 del 11/09/19
LOCALITA': Solano	Data prova: 01/10/19 - 14/10/19

**Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)****Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)****Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)**

su provini ricostruiti con materiale passante al setaccio di apertura di 2 mm

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Peso di volume naturale iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	18.9	19.0	19.0
Peso di volume umido finale (kN/m <sup>3</sup> )	19.9	20.2	20.6
Peso di volume secco iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	15.8	15.8	15.8
Peso di volume secco finale (kN/m <sup>3</sup> )	16.4	16.7	17.0
Contenuto d'acqua iniziale (%)	19.69	20.32	20.22
Contenuto d'acqua finale (%)	21.42	21.15	21.04
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.0060	0.0060	0.0060
Sigma (kPa)	98.1	147.1	196.1
Tau a rottura (kPa)	69.2	96.3	128.3

Provino 1		Provino 2		Provino 3	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
0.07	23.8	0.08	31.0	0.10	42.9
0.20	33.0	0.19	42.4	0.19	53.7
0.34	39.3	0.33	49.0	0.32	61.2
0.49	43.2	0.48	54.3	0.47	67.8
0.68	48.5	0.65	61.5	0.69	79.2
0.87	52.6	0.89	69.2	0.87	87.7
1.09	57.1	1.10	75.0	1.07	95.7
1.34	60.4	1.34	79.4	1.35	102.1
1.66	63.4	1.65	83.6	1.62	108.2
1.95	65.1	1.97	86.9	1.89	112.3
2.23	66.2	2.26	88.6	2.24	115.6
2.60	67.0	2.62	91.0	2.58	118.9
2.97	67.6	2.98	92.1	2.94	121.4
3.37	67.8	3.39	93.5	3.35	124.4
3.78	67.8	3.80	94.4	3.76	125.5
4.25	68.4	4.27	95.5	4.17	127.2
4.69	68.9	4.76	95.7	4.66	126.9
5.18	69.2	5.23	96.3	5.12	128.3
5.69	68.7	5.70	96.0	5.59	127.5
6.17	68.9	6.24	95.2	6.07	126.4
6.66	68.4	6.72	94.6	6.55	125.5

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo GambassiIl direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



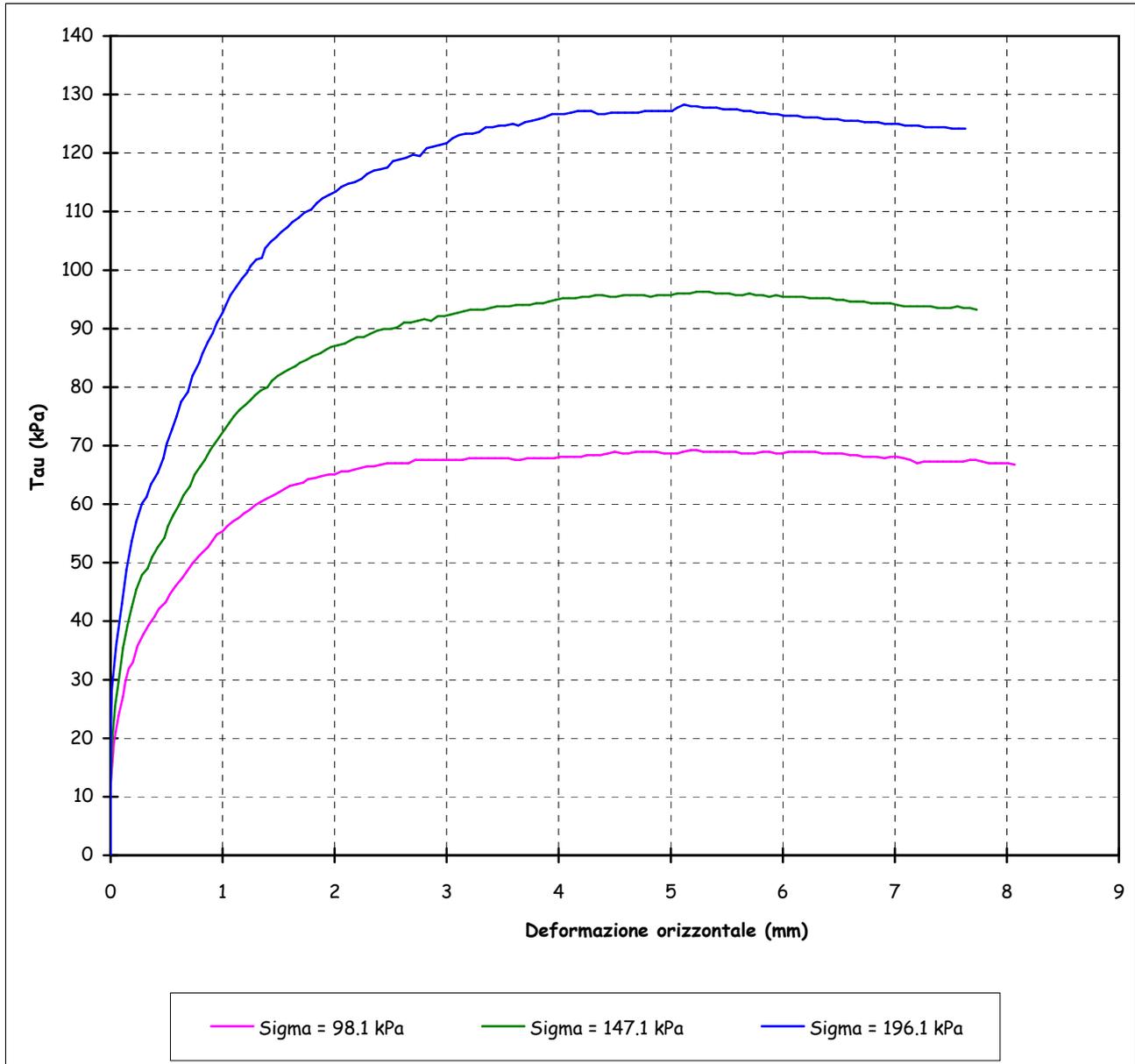
**CERTIFICATO DI PROVA N.1635/2019**

**CAMPIONE S2SPT4** profondità 12.00 - 12.45 m  
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Solano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 154/19 del 11/09/19  
Data prova: 01/10/19 - 14/10/19

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

**Grafico deformazione orizzontale - Tau**



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni

UdCM Casentino Prot 0002808 del 15-02-2021 partenza Cat 6 Cl 7 Fas



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Solano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 154/19 del 11/09/19

**Tabella riassuntiva Certificati di Prova n. 1633-1635/2019**

<b>CAMPIONE</b>	<b>S2SPT4</b>
Profondità metri	12.00 - 12.45
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	16.91
Limite liquido (%)	34
Limite plastico (%)	23
Indice di plasticità (%)	11
Indice di consistenza	1.55
Indice di attività	1.02
Classificaz. Casagrande	CL
<b>Granulometria</b>	
Ghiaia (%)	29.4
Sabbia (%)	27.5
Limo (%)	36.0
Argilla (%)	7.2
<b>Classificazione UNI 10006</b>	
Gruppo	A6
Indice di gruppo	2
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.0
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15.8
<b>Prova di taglio diretto</b>	
Coesione, C' (kPa)	9.3
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	31.1

*Michele Calmo*



# UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO

Via Roma, 203 – 52014 – Ponte a Poppi, Poppi (Ar) – [unione.casentino@postacert.toscana.it](mailto:unione.casentino@postacert.toscana.it) - CF/P. IVA: 02095920514



CASTEL FOCOGNANO



CASTEL SAN NICCOLÒ



CHITIGNANO



CHIUSI DELLA VERNA



MONTEMIGNAI



ORTIGNANO RAGGIOLO

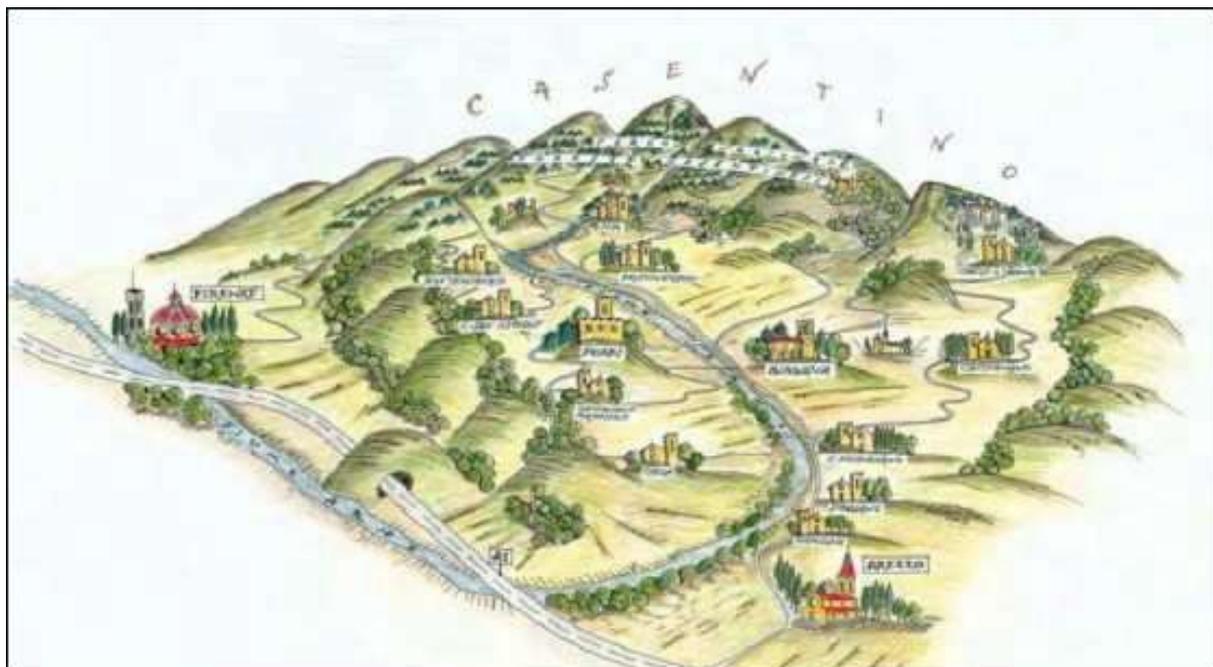


POPPI



TALLA

## SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA TRATTO FIUME ARNO CASENTINO 2° STRALCIO – 3° LOTTO



### **PASSERELLA SUL TORRENTE ARCHIANO**

**Elaborato: Studio geologico tecnico**

data: 14/10/2019



STUDIO GEOLOGICO  
**Dott. LUIGI FARINI**

Via Case Venti, 11b - 52010 - Badia Prataglia (AR)  
Tel. e Fax: 0575 / 594 277 - Cell: 338 / 59 87 380 - E-mail: [farini.luigi@geologi.it](mailto:farini.luigi@geologi.it)  
Codice Fiscale: FRN LGU 67L16A 851G - Partita I.V.A.: 0 1 9 4 5 2 1 0 5 1 4

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	5
2.1	Morfologia.....	5
2.2	Geologia.....	5
2.3	Idrogeologia.....	6
3	GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
3.1	Indagini penetrometriche.....	7
3.2	Perforazione a rotazione con carotaggio continuo.....	8
3.3	Standard Penetration Test – S.P.T.....	8
3.4	Analisi dei campioni.....	8
3.5	Indagini geofisiche.....	9
3.5.1	MASW.....	9
3.5.2	Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR.....	11
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	13
4.1	Caratterizzazione da indagini penetrometriche dinamiche.....	13
4.1.1	Peso unità di volume.....	14
4.1.2	Angolo di resistenza al taglio $\varphi$ .....	14
4.1.3	Coesione non drenata $C_u$ .....	14
4.1.4	Modulo edometrico $E_d$ .....	14
4.2	R.Q.D. (Rock Quality Designation).....	15
4.3	Resistenza alla compressione monoassiale della roccia.....	15



4.4	Angolo d'attrito e coesione dell'ammasso.....	15
4.4.1	Classificazione di Bieniawski.....	15
4.4.2	Criterio di rottura di Hoek-Brown.....	17
4.5	Determinazione parametri caratteristici e di progetto.....	19
5	CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO.....	20
5.1	Vita Nominale della Struttura ( $V_N$ ) (§ 2.4.1 NTC-18).....	20
5.2	Classi d'Uso (CU) (§ 2.4.2 NTC-18).....	21
5.3	Periodo di Riferimento (VR) (§ 2.4.3 NTC-18).....	21
5.4	Stati Limite e Probabilità di Superamento (§ 3.2.1 NTC-18).....	21
5.5	Definizione del Periodo di Ritorno (§ 3.2.1 NTC-18).....	22
5.6	Classificazione Topografica del Sito (§ 3.2.2 NTC-18).....	22
5.7	Determinazione delle Categoria di Sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-18).....	23
5.8	Frequenza di sito.....	25
5.9	Sismicità di Riferimento su Suolo Standard.....	25
5.10	Definizione della Pericolosità Sismica di Base (§3.2 NTC-18).....	26
6	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	27
6.1	Parametri sismici.....	27
6.2	Coefficienti Sismici.....	27
7	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-18).....	28
8	REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI.....	28
9	CONCLUSIONI.....	29



## 1 PREMESSA

La presente relazione costituisce il supporto geologico al progetto dei lavori di realizzazione di realizzazione del “Sistema Integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del Sentiero della Bonifica tratto Fiume Arno Casentino 2° stralcio – 3° lotto” per la passerella sul Torrente Archiano in Comune di Bibbiena – AR.

L'area, secondo il Piano Strutturale è classificata: **Pericolosità Geomorfologica G2. “Pericolosità Geomorfologica bassa”** (Tav. 6), la **Pericolosità Idraulica I.4 “Pericolosità Idraulica molto elevata”** (Tav. 7). La pericolosità di frana secondo il P.A.I. - Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno, è in area non classificata, mentre il rischio di alluvioni secondo il P.G.R.A. - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Fiume Arno, risulta a pericolosità **P.3 Pericolosità elevata, per alluvioni frequenti** (TAV. 8).

Le relative fattibilità, riportate nelle tabelle di assegnazione della fattibilità geomorfologica ed idraulica in Tav. 10 e 11, assegnate in funzione della tabella allegata al Regolamento Urbanistico, nell'allegata scheda del Regolamento Urbanistico indicano: **Fattibilità Geomorfologica F2: “Fattibilità con normali vincoli”**; la **Fattibilità Idraulica F4 “Fattibilità limitata”**.

Il presente lavoro è svolto in conformità alle norme vigenti:

- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*

Inoltre ai sensi della nuova DPGR n. 36/R del 9/07/2009 (Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza delle opere e delle costruzioni nelle zone soggette a rischio sismico - Pubblicato sul BURT n. 25 del 17/07/2009), per questo tipo d'intervento non ci sono indicazioni particolare, pertanto come indicato per gli studi geologici delle passerelle del 1° lotto, viene considerata per questo tipo di lavoro la classe di indagine n. 3, nella quale, *...la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante indagini geofisiche, quali quelle sismiche a rifrazione o riflessione, eseguite nel sito oggetto di studio. In presenza di problematiche di versante sono*



altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio basate su sondaggi geognostici. La definizione dei parametri geotecnici è basata su sondaggi geognostici.

Tavole allegate alla relazione:

	<i>Tavola</i>	<i>Scala</i>
Certificati indagini geognostiche		--
1. Inquadramento topografico		1 : 10.000
2. Carta geologica		1 : 5.000
3. Planimetria intervento con ubicazione indagini		1 : 500
4. Sezione geotecnica		1 : 200
5. Carta idrogeologica del Piano Strutturale		--
6. Carta pericolosità geologica del Piano Strutturale		--
7. Carta pericolosità idraulica del Piano Strutturale		--
8. Carta estratto PAI - pericolosità di frana e PGRA pericolosità alluvioni		--
9. Tabella assegnazione classe di fattibilità geologica Comune di Bibbiena		--
10. Tabella assegnazione classe di fattibilità idraulica Comune di Bibbiena		--

## 2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.

Il sito in esame è posto lungo il corso del Torrente Archiano, ad una quota di circa 325 m s.l.m., al limite ovest dell'abitato di Bibbiena Stazione, tra questo e il Fiume Arno (TAV. 1 e 2) .

### 2.1 MORFOLOGIA

La zona è un fondovalle fluviale, modellato dall'azione delle acque del torrente, con presenza di lunghi tratti con presenza di difese di sponda atte limitare l'erosione. L'area è pianeggiante con pendenze inferiori al 5%.

Dai sopralluoghi svolti attorno all'area d'intervento, hanno evidenziato l'assenza sul territorio circostante di indizi che possano far pensare o siano riferibili alla presenza di fenomeni geologici attivi o quiescenti pericolosi per l'intervento stesso.

Le caratteristiche morfologiche, ricavate da osservazioni di campagna, hanno evidenziato la notevole antropizzazione del territorio circostante la zona oggetto di studio, con la presenza di sistemazioni agrarie e opere idrauliche.

### 2.2 GEOLOGIA

Geologicamente, la zona studiata è rappresentata dai **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI** (Olocene, depositi di ambiente fluviale, deposti dopo la fase distensiva plio-pleistocenica. Costituiti da depositi sciolti quali sabbie, ghiaie e limi ). I terreni affioranti nel resto dello stralcio cartografico allegato sono rappresentati da **DEPOSITI ALLUVIONALI**



**ATTUALI** (Olocene, depositi recenti di ambiente fluviale, costituiti da litotipi a granulometria generalmente grossolana. Dal punto di vista litologico, sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli arenacei con sabbie e limi) e dai **DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI TERRAZZATI** (Pleistocene Medio - Sup, depositi di ambiente fluviale, depositi dopo la fase distensiva plio-pleistocenica. Costituiti da depositi sciolti quali sabbie, ghiaie e limi ).

### 2.3 IDROGEOLOGIA

Le indagini geognostiche, non hanno evidenziato la presenza di acqua ad una profondità, la presenza di acqua nel sottosuolo è stata determinata in maniera indiretta prendendo in considerazione la carta idrogeologica dell'area. Su questa è indicata la presenza di vari pozzi; dalla carta piezometrica è possibile rilevare la soggiacenza della falda acquifera che è attorno ai 322 m. s.l.m., quindi attorno a  $-3,00 \div 3,50$  m da p.c.

Dall'andamento delle isopieze della carta idrogeologica, risulta che la falda acquifera nel sottosuolo locale tende ad alimentare il corso del Torrente Archiano.

## 3 GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche commissionate da Unione dei Comuni del Casentino e coordinate dal sottoscritto quale Direttore Lavori delle stesse, sono state eseguite sui due fianchi del Torrente Archiano come indicato in TAV. 3. Tali indagini hanno avuto lo scopo di evidenziare, assieme ai rilievi geomorfologico sul territorio, le caratteristiche dei terreni presenti del sito di studio in modo da rilevarne le possibili complicazioni di natura geologica e geotecnica e sismica e poter fornire dati utili per la loro progettazione. Le indagini utilizzate per redigere il presente studio sono le seguenti:

- **indagini penetrometriche** : n. 2 prove penetrometriche eseguite con metodologia dinamica superpesante DPSH estese sino alla profondità alla quale è stata rilevato rifiuto all'infissione.
- **Perforazione a rotazione con carotaggio continuo**: n. 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi entrambi 20,0 (S1 e S2), svolti ciascuno sulle sponde del Torrente Archiano. Per ottenere ulteriori dati geotecnici sui terreni attraversati, durante i sondaggi sono state eseguite n. 8 Standard Penetration Test (S.P.T.) e prelevati n. 3 campioni rimaneggiati entro le argilliti ed arenarie del substrato locale.



- **Analisi geotecniche sui campioni prelevati:** Sui campioni di terra, sono state eseguite le seguenti analisi: caratteristiche fisiche dei terreni, analisi granulometrica, limiti di Atterberg, prova di compressione non confinata, prova di taglio diretto consolidata-drenata e prova edometrica. Nei campioni di roccia : Point Load Test.
- **indagini geofisiche:** n. 2 prospezioni geofisiche di sismica attiva con metodologia MASW; n. 2 postazioni di sismica passiva con metodologia HVSR.

Le prove penetrometriche DPSH e SPT, hanno avuto lo scopo di caratterizzare i terreni dal punto di vista geotecnico, integrando le stesse con le litologie dei terreni incontrati e le analisi di laboratorio sui campioni prelevati. Queste in associazione con le indagini geofisiche hanno permesso la definizione di un modello geotecnico e sismico del sottosuolo dove sorgerà la passerella. Si è potuto ricavare pertanto, con sufficiente definizione la sequenza stratigrafica locale, che ha permesso di discretizzare orizzonti con differenti caratteristiche fisico-meccaniche.

L'indagine MASW in associazione con HVSR sono state utilizzate per specificare la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro  $V_{s,eq}$ . Le informazioni rilevate dalle analisi di rumore ambientale con l'HVSR, hanno avuto lo scopo, oltre che di definire le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

### 3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE

I risultati delle verticali penetrometriche sono stati utilizzati per raccogliere indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati e definirne di conseguenza la successione litotecnica locale. L'ubicazione delle prove penetrometriche è riportata in TAV. 3.

La strumentazione utilizzata per eseguire la prova DPSH è sempre il penetrometro dinamico PAGANI TG 63-200, questa volta attrezzato in accordo con le normative internazionali (ISSMFE) ha le seguenti caratteristiche tecniche:

<i>peso massa battente: 63.5 Kg.</i>	<i>altezza di caduta: 75.0 cm.</i>	<i>area di base punta conica: 20 cmq.</i>
<i>angolo apertura punta conica: AGI 90°</i>	<i>peso asta 7 Kg / ml</i>	<i>diametro della punta conica 50,50 mm</i>
<i>avanzamento punta: 20 cm</i>	<i>Lunghezza aste: 1.00 m.</i>	<i>Peso sistema di battuta: 30 Kg</i>

La prova dinamica superpesante consiste nel misurare il numero di colpi N necessari per far avanzare di 20 cm nel terreno la punta conica.



### 3.2 *PERFORAZIONE A ROTAZIONE CON CAROTAGGIO CONTINUO*

Il sondaggio geotecnico è consistito nella perforazione a carotaggio continuo in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati. Durante tali operazioni, oltre l'estrazione di carote per il riconoscimento della litostratigrafia dei terreni sono stati prelevati campioni rimaneggiati; su quest'ultimi saranno eseguite delle analisi di laboratorio geotecnico. Inoltre entro il foro di sondaggio sono state eseguite prove geotecniche tipo SPT.

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una sonda con testa idraulica di rotazione alla quale sono collegate delle aste di perforazione sulla cui cima è alloggiato un utensile di perforazione (carotiere). Al fine di evitare il franamento del foro tra una manovra di carotaggio e l'altra, nel caso in cui il terreno non si auto sosteneva, è stato usato del rivestimento metallico provvisorio.

### 3.3 *STANDARD PENETRATION TEST – S.P.T.*

È una prova discontinua, realizzata nel foro durante l'esecuzione dei carotaggi. Tale prova viene eseguita nel foro preventivamente ripulito, e consiste nella infissione a percussione, di un campionatore a punta aperta con pareti grosse (campionatore Raymond) o come nel caso dei sondaggi S1 ed S2, vista la tipologia dei terreni, è stata montata sul campionatore una punta chiusa. Tutto il sistema di prova ha le seguenti caratteristiche: diametro esterno di 51 mm; il dispositivo di percussione comprende una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste, un maglio di acciaio di 63.5 kg (140 libbre), un sistema di guida e sganciamento automatico del maglio che assicura una corsa a caduta libera fissa pari a 0.76 m (30 pollici).- Con questa prova vengono registrati i colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT) del campionatore. Durante l'infissione infatti, si registrano i colpi necessari a produrre l'avanzamento totale di 45 cm.

### 3.4 *ANALISI DEI CAMPIONI*

Nel corso della perforazione di sondaggio sono stati prelevati dei campioni di terreno, per sottoporli successivamente ad analisi e prove di laboratorio al fine di determinarne i parametri geotecnici. Le analisi eseguite sono:

- Umidità naturale, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-1,



- Peso di volume naturale, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-2,
- Determinazione dei limiti di Atterberg, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-12,
- Analisi granulometrica, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-4
- Prova di compressione con espansione laterale libera, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-7
- Prova di taglio diretto CD, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-10
- Prova edometrica a gradini di carico costante, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-5

Per le prove sulle rocce sono state eseguite le seguenti analisi:

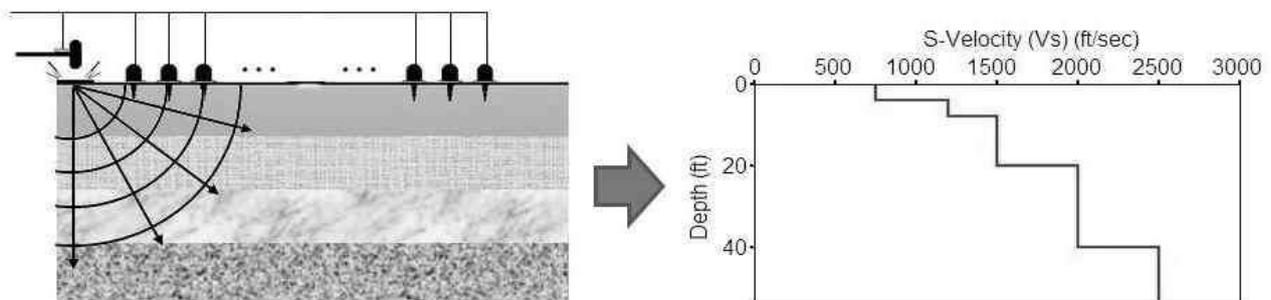
- Peso di volume naturale, secondo la norma Boll. Uff. CNR n. 40
- Point Load Test, secondo la norma ASTM D 5731-95

I dettagli delle analisi sono riportati nei certificati prodotti dal Laboratorio IGETECMA s.n.c. ed allegati alla presente relazione.

### 3.5 INDAGINI GEOFISICHE

#### 3.5.1 MASW

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una metodologia non invasiva, basata su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999). Tale metodologia di prospezione geofisica del sottosuolo, consente di ottenere un profilo verticale delle Vs, a partire dall'analisi della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh, analizzando anche le modalità di propagazione e la loro velocità a diverse frequenze.



Le onde di Rayleigh, viaggiano con una velocità diversa correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalle onde stesse. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase; questa proprietà è definita come dispersione. È proprio questa proprietà dispersiva che viene utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece

onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e interessano gli strati più profondi del suolo. La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$  e dalla frequenza. Quindi onde di Rayleigh di diversa lunghezza d'onda forniscono informazioni a diverse profondità del sito investigato.

Le dati sulla velocità delle onde di taglio  $V_s$  rilevate in sito, sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità d'investigazione.

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase sperimentale, detta curva di dispersione apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte più superficiale del suolo; in genere sui primi 30 m. ÷ 50 m. variabili in funzione della rigidità del suolo. La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che le onde S sono parametri di prim'ordine nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Tali onde, campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda stessa e la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato; la forma di questa curva è sostanzialmente influenzata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Perciò, utilizzando apposite convenzioni è possibile stabilire una relazione diretta, ma analiticamente complessa, fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. La relazione che ne consegue, consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità", che fondamentalmente sono rappresentati come Modello Medio e Modello Migliore; utilizzati poi per giungere alla definizione degli spessori di terreno a diversa  $V_s$ .

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,



2. calcolare della velocità di fase apparente numerica,
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Galileo Geofisica ed allegati alla presente relazione.

### 3.5.2 *Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR*

Tale indagine geofisica è molto rapida nell'esecuzione e può essere applicata praticamente ovunque. Il suo vantaggio è che non necessita perforazioni nel sottosuolo, stendimento di cavi ed energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.

Questo metodo d'investigazione costituisce una parte importante nella determinazione del rischio sismico di un sito in quanto permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza del sito. Quest'ultima rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale. Il valore di questo parametro dovrà essere tenuto presente nella realizzazione di nuove strutture, infatti queste non dovranno avere la medesima frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", molto pericolose in caso di sisma.

Ciò che viene registrato con questa indagine sono le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) che sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4} \div 10^{-2}$  mm (Okada, 2003). Rispetto alle frequenze di queste vibrazioni, il rumore sismico che viene registrato, è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze, in genere maggiori di 0.5 Hz.

L'origine di questo rumore sismico sono molteplici come ad esempio le perturbazioni atmosferiche, l'energia data da onde del mare che si propagano sul terreno, le sorgenti di origine antropica come il traffico veicolare, le attività industriali etc. Tutte queste sorgenti, fanno che si generino delle onde superficiali di Rayleigh le quali poi si propagano



nel terreno.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- *Spettri di Fourier*
- *Rapporti spettrali*
- *Rapporti spettrali H/V*

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW ) e della componente verticale V.

Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate su singola stazione posta sul terreno. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi ('71) e Shiono et al. ('79), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza, per un determinato sito, si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale dei terreni presenti sul luogo oggetto di studio.

Nel 1989, Nakamura propose il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri :

- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;*
- ✓ *la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$  e della densità e quindi delle velocità  $V_{s30}$  nei*



- primi 30 m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;*
- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare;*

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Galileo Geofisica ed allegati alla presente relazione.

#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

In riferimento alle prove penetrometriche statiche e dinamiche (DPSH e SPT), si è proceduto all'elaborazione dei dati acquisiti per giungere alla definizione dei parametri geotecnici, i quali sono stati integrati dalle risultanze delle analisi di laboratorio geotecnico e dalle stratigrafie rilevate durante i sondaggi.

Per le prove dinamiche, in base al numero di colpi N registrati, si sono definiti tramite correlazioni, i parametri geotecnici attinenti ad ogni strato identificato con tale tipo d'indagine.

Dalle indagini svolte a seconda delle profondità investigate, sono stati discretizzati, cinque orizzonti geotecnici differenti.

Per ciascun orizzonte, sono state definite le peculiarità geotecniche utili alla progettazione:

##### 4.1 CARATTERIZZAZIONE DA INDAGINI PENETROMETRICHE DINAMICHE

L'elaborazione dei dati ottenuti nella verticale penetrometrica dinamiche, ha visto la conversione da  $N_{DPSH}$  a  $N_{SPT}$ ; per far questo sono ricorso al metodo proposto da La Croix e Horn (1973):

$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N_{DPSH}$$

dove:	D = diametro del cono
W = peso del maglio	L = penetrazione standard
H = altezza di caduta	$N_{DPSH}$ = numero colpi misurato nella prova

Successivamente ho provveduto alla normalizzazione del dato  $N_{SPT}$ , da questo al suo valore normalizzato  $N_{60}$  come definito da norma europea EN ISO 22476-3:2002 che prevede:

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_R$$

dove

$N_{SPT}$  = numero colpi SPT

$C_E$  = correzione del rapporto di energia altezza di caduta con  $C_E = \frac{E_R}{60}$  ed  $E_R$  è il rendimento di



battitura della norma ASTM 4633-86

$C_R$  = correzione per la lunghezza delle aste

Il valore ottenuto è stato a sua volta normalizzato per la pressione litostatica con la formula:

$$N_{1(60)} = C_N \cdot N_{60}$$

dove  $C_N$  è il coefficiente di Liao e Whitman (1986) determinato con:  $C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$

#### 4.1.1 *Peso unità di volume*

Determinata con una relazione polinomiale messa a punto da Bruschi A. (1980)

$$\gamma = 98,1 (1,39 + 0,053 N_{60} - 0,0011 N_{60}^2 + 0,0000076 N_{60}^3)$$

#### 4.1.2 *Angolo di resistenza al taglio $\varphi$*

Il valore dell'angolo di attrito è stato determinato tramite la formula indicata da Hatanaka e Hucida (1996, 1998),

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{1(60)}}$$

di Schmertmann (1975),

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,20 + 20,3 \cdot \frac{\sigma'_v}{98,1}} \right)$$

#### 4.1.3 *Coesione non drenata $c_u$*

Questo parametro geotecnico è stato determinato attraverso la relazione di Terzaghi e Peck (1948)

$$c_u = 6,40 \cdot N_{60}$$

e da Bruschi (2004).

$$c_u = 6,50 \cdot N_{60}$$

#### 4.1.4 *Modulo edometrico $E_d$*

Valutato mediante la correlazione proposta da Mayne e Frost (1988) per terreni incoerenti

$$M = q_c \cdot 10^{(Q-0,0075 \cdot D_R)}$$



e dalla relazione di Schulze e Menzenbach (1961) per terreni a grana fine.

$$M = 8,25 \cdot (q_c - \sigma' \nu)$$

#### 4.2 R.Q.D. (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Il valore del parametro R.Q.D. è definito come la percentuale di recupero di carotaggio in roccia di spezzoni con lunghezza superiore ai 10 cm rispetto alla lunghezza totale perforata.

$$R.Q.D.(\%) = \frac{\sum \text{Lunghezza spezzoni} \geq 10 \text{ cm.}}{\text{Lunghezza totale del carotaggio}}$$

Sulla base di tale caratterizzazione è possibile stimare la qualità della roccia:

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 ÷ 25	MOLTO SCADENTE
26 ÷ 50	SCADENTE
51 ÷ 75	DISCRETA
76 ÷ 90	BUONA
91 ÷ 100	ECCELLENTE

Dalle stratigrafie svolte dopo la campagna geognostica, si è proceduto al calcolo dell'R.Q.D. nel substrato litoide, ed è quasi sempre risultato  $\neq 0\%$ .

#### 4.3 RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE MONOASSIALE DELLA ROCCIA

Gli spezzoni roccia prelevati dopo il carotaggio sono stati analizzati al fine di determinare la loro resistenza alla compressione uniassiale. I campioni di roccia per i quali non è stato possibile eseguire la compressione uniassiale, sono stati sottoposti alla prova di Point Load Test.

Questa prova è stata usata per determinare la resistenza a compressione della roccia  $\sigma_c$ , valore poi utilizzato per caratterizzare dal punto di vista geotecnico l'ammasso roccioso.

#### 4.4 ANGOLO D'ATTRITO E COESIONE DELL'AMMASSO

I valori di R.Q.D. della roccia sono stati utilizzati, attraverso software dedicati, per la caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso, utilizzando i criteri di classificazione di Bieniawski -1989 ed Hoek-Brown 2002.

##### 4.4.1 Classificazione di Bieniawski

La classificazione di Bieniawski tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione (R6) il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).



$$\text{RMR base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$\text{RMR corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

I parametri sono:

RMR = Rock Mass Rating

R1 (**Co** - Resistenza a compressione monoassiale);

R2 (**RQD%** - Rock Quality Designation);

R3 (**s** - Spaziatura delle discontinuità);

R4 Condizioni dei giunti

R5 Condizioni idrauliche dei giunti

R6 l'orientamento delle discontinuità

Ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale ricavato da abachi a seconda del valore (per RQD%, Co e s) o della condizione idraulica.

Le tabelle seguenti riportano i criteri di determinazione dell'indice RMR:

PARAMETRI		Valori						
Resistenza a compressione uniassiale (Mpa)		> 250	100 - 250	100 - 50	50 - 25	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente R1		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Coefficiente R2		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 - 2 m	60 - 20 cm	20 - 6 cm	< 6 cm		
Coefficiente R3		20	15	10	8	5		
Condizioni delle discontinuità		Sup. molto rugosa, non alterata, discont. chiuse non continue	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, poco alterate	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, molto alterate	Sup. lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1- 5 mm e continui	Riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui		
Coefficiente R4		30	25	20	10	0		
Condizioni idrauliche	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza (l/min)	nessuna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Condizioni generali	Asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Venute d'acqua		
Coefficiente R5		15	10	7	4	0		

Orientamento discontinuità		Valori				
Direzione di immersione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Poco favorevole	Sfavorevole	Molto sfavorevole
	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Coefficiente R6	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	-60



Dettagli sulle condizioni delle discontinuità $R4 = A + B + C + D + E$	Valori				
	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Lunghezza discontinuità	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Coefficiente A	6	4	2	1	0
Apertura	nessuna	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Coefficiente B	6	5	4	1	0
Rugosità	Molto rugosa	Rugosa	Leggermente rugosa	Liscia	Levigata
Coefficiente C	6	5	3	1	0
Riempimento	nessuno	Materiale duro < 5 mm	Materiale duro > 5 mm	Materiale tenero < 5 mm	Materiale tenero > 5 mm
Coefficiente D	6	4	2	2	0
Alterazione	Inalterata	Leggermente alterata	Moderatamente alterata	Molto alterata	Decomposta
Coefficiente E	6	5	3	1	0

Classi di qualità dell'ammasso roccioso	Valori				
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
Coesione (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 200
Angolo d'attrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

I parametri di resistenza e di elasticità sono dedotti dall' $RMR_{base}$ :

- coesione in termini di tensioni efficaci:

$$c' = 5 \cdot RMR_{base} \quad (\text{KPa});$$

- angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci:

$$\varphi' = 5 + RMR_{base} / 2 \quad (°);$$

- modulo di deformabilità:

relazione di Bieniawski (1978)

$$Ed = 2 R RMR_{base} - 100 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} > 50$$

relazione di Serafim Pereira (1983)

$$Ed = 10 ( RMR_{base} - 10 ) / 40 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} < 50$$

#### 4.4.2 Criterio di rottura di Hoek-Brown

Attraverso il parametro G.S.I. ricavato dalla classificazione di Bieniawski è possibile ricavare le grandezze  $m$ ,  $s$

ed  $a$ , necessarie per la definizione del criterio di rottura di Hoek e Brown, secondo la relazione

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left( \frac{m \cdot \sigma_3'}{\sigma_c + s} \right)$$

$\sigma_1'$  è lo sforzo efficace principale massimo alla rottura;



$\sigma_3'$  è lo sforzo efficace principale minimo alla rottura;  
 $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;  
 $m, s$ , sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

Dall'equazione precedente si derivano le seguenti espressioni dei parametri di resistenza al taglio equivalenti all'involuppo dei cerchi di Mohr:

$$\tau = A \cdot \sigma_c \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_c - \sigma_{tm}}{\sigma_c}\right)}$$

$\tau$  è la tensione di taglio alla rottura;  
 $A$  e  $B$  sono costanti del materiale;  
 $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;  
 $\sigma_n'$  è lo sforzo normale efficace;  
 $\sigma_{tm}$  è la resistenza a trazione pari a:

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_c}{2} \cdot (m - \sqrt{m^2 + 4s})$$

L'angolo d'attrito istantaneo è dato:

$$\phi_i' = \arctan \left[ A \cdot B \cdot \left( \frac{\sigma_n' - \sigma_{tm}}{\sigma_c} \right)^{B-1} \right]$$

La coesione istantanea è data da:

$$c_i' = \tau - \sigma_n' \cdot \tan' \phi_i'$$

Le costanti  $A$  e  $B$  si ricavano da un'analisi di regressione di un gruppo di valori di  $\tau$  e  $\sigma_n'$  ricavati da prove triassiali:

$$B = \frac{\left[ \sum XY - \sum X \cdot \sum \frac{Y}{n} \right]}{\left[ \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}$$

dove:

$$A = 10^{\left( \sum \frac{Y}{n} - B \cdot \sum \frac{X}{n} \right)} \quad - \quad x = \log \left[ \frac{(\sigma_n - \sigma_{tm})}{\sigma_c} \right] \quad - \quad Y = \log \left( \frac{\tau}{\sigma_c} \right)$$

e dove  $n$  è il numero della coppia di valori  $\tau$  e  $\sigma_n'$ ;

Le costanti  $m$  ed  $s$  sono legate all'indice GSI (Geological Strength Index) di Hoek dalle relazioni:

$$m = m_i \cdot e^{\frac{(GSI-100)}{28}}$$

$$\text{con } GSI \geq 25: \quad S = e^{\frac{(GSI-100)}{9}} \quad \text{Con } GSI \geq 25: \quad S = 0$$

con l'indice GSI che si può stimare dall'indice  $RMR_{base}$  di Bieniawski



$$GSI = RMR_{base} - R5 + 15$$

#### 4.5 DETERMINAZIONE PARAMETRI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

La normativa vigente impone la definizione dei **parametri caratteristici del terreno  $X_k$**  dai **valori medi  $X_m$**  ricavati dalle indagini geognostiche. Le istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici indicano che nelle valutazioni che il tecnico deve svolgere per pervenire ad una corretta scelta dei valori caratteristici appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai **valori medi** quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, come nel caso di fondazioni superficiali, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità tale a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Le stesse istruzioni indicano invece di fare riferimento ai **valori minimi** quando siano coinvolti modesti volumi di terreno, fondazioni su pali, verifica a scorrimento di un muro di sostegno, con concentrazione del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dagli strati meno resistenti a quelli più resistenti a causa dell'insufficiente rigidità della struttura. Pertanto nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, devono quindi essere utilizzati i parametri caratteristici opportunamente interpretati come sopra indicato e parametri ridotti, **parametri di progetto  $X_d$** , overosia ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto. La resistenza  $R_d$  è determinata in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza del terreno, divisi per i coefficienti parziali  $\gamma_m$  di seguito riportati nella Tabella 6.2.11 delle NTC 2008

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_m$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{c_u}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

Gli orizzonti geotecnici discretizzati come descritto in precedenza, hanno permesso di definire una sequenza stratigrafica come di seguito descritta e riportata nella sezione geotecnica allegata in TAV. 4 :

1. orizzonte più superficiale rappresentato da sabbie limose;



2. il secondo livello costituito da ghiaie e con scarsa matrice argillosa;
3. il terzo orizzonte costituito da ghiaie e sabbie in matrice argillosa;
4. il quarto costituito da argilliti alterate
5. il quinto costituente da argilliti ed arenarie.

Prendendo in considerazione i parametri geotecnici derivanti dalle correlazioni su indicate, analizzando gli stessi in funzione della tipologia dell'intervento prevista ed ai fini della progettazione geotecnica riteniamo corretta la definizione dei seguenti **parametri medi  $X_m$**

LITOLOGIA	Peso Vol. <b><math>\gamma</math></b> t/mc	Coesione <b><math>C'</math></b> Kg/cmq	Coesione non dren <b><math>C_u</math></b> Kg/cmq	Ang. Attr. <b><math>\phi</math></b> °	Mod Edom. <b><math>E_d</math></b> Kg/cmq
Sabbie limose	1,90	--	0,54	30,30	50
Ghiaie e sabbia in scarsa matrice	2,05	--	--	34,70	180
Ghiaie e sabbia in matrice	2,15	--	--	38,60	200
Argilliti alterate	2,18	0,012	0,83	35,60	250
Argilliti	2,47	2,18	1,17	38,10	30 GPa

Da cui è possibile definire i seguenti **parametri caratteristici  $X_k$** :

LITOLOGIA	Peso Vol. <b><math>\gamma</math></b> t/mc	Coesione <b><math>C'</math></b> Kg/cmq	Coesione non dren <b><math>C_u</math></b> Kg/cmq	Ang. Attr. <b><math>\phi</math></b> °	Mod Edom. <b><math>E_d</math></b> Kg/cmq
Sabbie limose	1,90	--	0,44	29,36	50
Ghiaie e sabbia in scarsa matrice	2,05	--	--	34,36	180
Ghiaie e sabbia in matrice	2,15	--	--	36,13	200
Argilliti alterate	2,18	0,010	0,74	33,80	250
Argilliti	2,40	1,70	1,04	35,55	30 GPa

Di conseguenza i **parametri di progetto  $X_p$**  sono quelli di seguito indicati:

LITOLOGIA	Peso Vol. <b><math>\gamma</math></b> t/mc	Coesione <b><math>C'</math></b> Kg/cmq	Coesione non dren <b><math>C_u</math></b> Kg/cmq	Ang. Attr. <b><math>\phi</math></b> °	Mod Edom. <b><math>E_d</math></b> Kg/cmq
Sabbie limose	1,90	--	0,31	24,23	50
Ghiaie e sabbia in scarsa matrice	2,05	--	--	28,68	180
Ghiaie e sabbia in matrice	2,15	--	--	30,29	200
Argilliti alterate	2,18	0,08	0,53	28,20	250
Argilliti	2,40	1,36	0,74	29,75	30 GPa

## 5 CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO

Su indicazione del progettista delle strutture, l'edificio oggetto del presente studio ha le seguenti tipologie del costruito:

### 5.1 VITA NOMINALE DELLA STRUTTURA ( $V_N$ ) (§ 2.4.1 NTC-18)

È intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter



essere usata per lo scopo al quale è destinata, che per il caso in esame è la seguente:

Tipi di Costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50

#### 5.2 CLASSI D'USO (CU) (§ 2.4.2 NTC-18)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono definite in classi d'uso a cui si associa un coefficiente d'uso  $C_u$  definito al variare della classe d'uso, nel caso esaminato la classe è:

Classe d'uso	Descrizione	$C_u$
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1,0

#### 5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO (VR) (§ 2.4.3 NTC-18)

L'azione sismica è valutata in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  dell'opera e allo stato limite SL da verificare, cui è associata una prefissata probabilità di superamento PVR, che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_N \times C_u$$

Nel caso in esame:

$$V_R = 50 \times 1 = 50$$

#### 5.4 STATI LIMITE E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO (§ 3.2.1 NTC-18)

La normativa definisce quattro stati limite, al fine di indicare, in chiave sismica, le prestazioni della costruzione nel suo complesso.

Gli **Stati Limite di Esercizio SLE** sono:

**SLO - Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi

**SLD - Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi



strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati Limite Ultimi SLU sono:

**SLV- Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per ciascuno si definisce una probabilità di superamento  $P_{VR}$ , che rappresenta la probabilità di accadimento, nel periodo di riferimento  $V_R$  di almeno un sisma a tempo di ritorno  $T_R$

Stati Limite		$P_{VR}$ : probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	<b>SLV</b>	<b>10%</b>
	SLC	5%

### 5.5 DEFINIZIONE DEL PERIODO DI RITORNO (§ 3.2.1 NTC-18)

Stabilito il Periodo di Riferimento  $V_R$  e la Probabilità di Superamento per ogni stato limite  $P_{VR}$  e ipotizzando che i terremoti seguano una distribuzione probabilistica di Poisson, si calcola il PERIODO di RITORNO  $T_R$  dell'azione sismica attraverso la formula:

$$T_R = \left[ \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \right]$$

Per il progetto in esame:

$V_R=50$	SLU → SLV → $P_{VR}=10\%$ → $T_R=475$ anni
----------	--

### 5.6 CLASSIFICAZIONE TOPOGRAFICA DEL SITO (§ 3.2.2 NTC-18)

Nella definizione dell'azione sismica di progetto si devono considerare le seguenti categorie topografiche se di altezza > di 30 m.



<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in esame si considera:

**Categoria: T1**

Tale valore viene utilizzato per determinare l'amplificazione topografica  $S_T$  in base a quanto indicato nella

Tabella 3.2.VI – NTC-18, dal quale si evince quanto sotto indicato:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>	-	<b>1</b>
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

### 5.7 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC-18)

La determinazione di tale parametro, è definita attraverso la misurazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  entro il sottosuolo locale, sino alla profondità  $H$  alla quale è stata rilevata la presenza del substrato rigido, costituito da roccia, con  $V_s > 800$  m/sec. Tale misura rappresenta la velocità equivalente delle onde di tipo S; viene calcolata conoscendo gli spessori degli strati e la relativa velocità  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio di ognuno al di sopra del substrato rigido.

Tale valore è indicato come velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , e si calcola con l'espressione:

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

dove: **h<sub>i</sub>** rappresentano lo spessore in metri

**V<sub>i</sub>** è la velocità delle onde di taglio dello strato *i*esimo, il tutto per un totale di strati presenti nei primi 30 metri di spessore di terreno.

Per la definizione delle velocità della  $V_{s,eq}$  si è utilizzata la prospezione sismica tipo MASW eseguite sulle due



rive del Torrente Archiano. Con questa prospezione geofisica si è identificato il profilo di velocità delle onde di taglio e relativi spessori, quindi si è proceduto al calcolo della velocità equivalente ( $V_{s,eq}$ ) nei livelli con  $V_s < 800$  m/sec. ed infine all'individuazione della categoria sismica del suolo.

Nel profilo risultante in sinistra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate, siano stati individuati 4 diversi strati a differente velocità delle  $V_{sh}$ :

1. un primo strato di circa 2,00 m. di spessore, caratterizzato da una  $V_s$  media di 180 m/s;
2. uno strato di circa 2,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 250 m/s;
3. uno strato di circa 7,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 350 m/s;
4. uno strato di circa 19,00 m di spessore con  $V_s$  media di 400 m/s;
5. oltre da circa 30,00 m. di profondità è stata registrata una  $V_s$  di 750 m/s .

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec non è stato rilevato. I terreni con  $V_s$  750 m/sec sono il substrato locale. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  
 **$V_{s,eq} = 346$  m/sec.**

Nel profilo risultante in destra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate (elaborazione per inversione), siano stati individuati 5 diversi strati a differente velocità delle  $V_{sh}$ :

1. un primo strato di circa 4,00 m. di spessore, caratterizzato da una  $V_s$  media di 220 m/s;
2. uno strato di circa 4,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 350 m/s;
3. uno strato di circa 3,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 300 m/s;
4. uno strato di circa 4,00 m di spessore con  $V_s$  media di 500 m/s;
5. uno strato di circa 3,00 m di spessore con  $V_s$  media di 300 m/s;
6. oltre i 18,00 m di profondità è stata registrata una  $V_s$  di 750 m/s .

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec non è stato rilevato. I terreni con  $V_s$  750 m/sec sono il substrato locale. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , delle coperture, come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 312$  m/sec.**

Con le velocità indicate, sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, il tipo di suolo rilevato in destra è di certo un suolo E in quanto le coperture hanno una  $V_{s,eq}$  di tipo C su un substrato posto a meno



di 30 metri di profondità.

Mentre, in sinistra idrografica del Torrente Archiano, è stata rilevata una copertura con  $V_{s,eq}$  tipica del suolo di tipo C, avente uno spessore che arriva in maniera precisa a 30 metri di profondità.

Visto che in entrambe le sponde si ha un elevato contrasto di velocità tra le coperture e il substrato locale, ai fini della valutazione della pericolosità sismica del sito, ritengo di dare una maggiore rilevanza al contrasto d'impedenza sismica tra il substrato sismico e il terreno di copertura.

Pertanto ritengo più cautelativa l'adozione su entrambe le sponde una categoria di sottosuolo pari a:

**CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: E**

#### 5.8 FREQUENZA DI SITO

Per la sua definizione sono stati utilizzati i dati provenienti dall'analisi HVSR, per questa analisi è stato preso in considerazione il grafico *frequenza (x) ÷ ampiezza del rapporto HV (y)* rilevato sul sito con una registrazione del rumore di fondo del sito di 20 minuti, ottenendo un valore della **frequenza di sito  $f_0$**  pari a:

$$f_0 = 4,06 \pm 0,89 \text{ e } 2,94 \pm 0,44 \text{ Hz}$$

#### 5.9 SISMICITÀ DI RIFERIMENTO SU SUOLO STANDARD

L'attuale zonazione sismica del territorio nazionale, emanata con O.P.C.M. 3519 del 26 aprile 2006, classifica i comuni secondo quattro zone, definite attraverso i valori dell'accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$ :

Zona	$a_g$
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05

La Giunta Regionale Toscana ha approvato, con deliberazione n. 431 del Giugno 2006, la nuova mappa di classificazione sismica del territorio regionale. Per l'area oggetto di studio:

Comune	<b>BIBBIENA</b>
Zona sismica	<b>2</b>
Accelerazione orizzontale massima al suolo di tipo A	<b><math>a_g = 0.25</math></b>



### 5.10 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (§3.2 NTC-18)

La Pericolosità Sismica di Base è definita al sito specifico attraverso i seguenti parametri di scuotimento:

- ✓ **accelerazione orizzontale di picco attesa**,  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, su suolo di categoria A, con superficie topografica orizzontale;
- ✓ **lo spettro di risposta elastico** isoprobabile in accelerazione (componente orizzontale) in condizioni di campo libero su sito rigido con superficie topografica orizzontale, definito dai parametri  $F_o$  e  $Tc^*$ , rispettivamente valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione e periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta in accelerazione.

I parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $Tc^*$ , sono definiti in termini probabilistici con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nella vita di riferimento  $V_R$  del manufatto su tutto il territorio nazionale attraverso un reticolo di riferimento dello studio INGV con maglia avente passo <10 Km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni. Il calcolo dello spettro elastico  $Se(T)$  è data dalla seguente relazione:

$$Se(T) = a_g \times S \times \eta \times F_o$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al suolo (PGA);  
 $\eta$  = fattore di smorzamento determinato, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

$\xi$  = espresso in percentuale, è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_o$  = valore massimo dell'amplificazione spettrale  $\leq 2.2$

$S$  = coefficiente di Amplificazione che tiene conto del Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  che dipende dalle categorie di suolo e da Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  che dipende dalla Pendenza attraverso la relazione :

$$S = S_s \times S_T$$

Il coefficiente  $S_s$  si determina con la Tabella 3.2.V sotto riportata:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (Tc^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (Tc^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (Tc^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (Tc^*)^{-0,40}$

Mentre il coefficiente  $C_c$  è utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta



Elastico è definito come sopra indicato. Entrambi necessari per definire l'amplificazione stratigrafica del sito.

## 6 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Relativamente al sito d'intervento sono stati calcolati gli Input Sismici di Progetto per tutti gli stati limite

Sito in esame: **Passerella sul Torrente Archiano in località Bibbiena Stazione – Comune di Bibbiena - AR**

latitudine:	43,694675
longitudine:	11,800901
Classe d'uso:	2
Vita nominale Vn:	50

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine	Longitudine	Distanza <i>m</i>
Sito1	20510	43,672120	11,762150	4000,0
Sito2	20511	43,673120	11,831240	3420,0
Sito3	20289	43,723110	11,829880	3927,2
Sito4	20288	43,722110	11,760750	4440,9

Le coordinate geografiche sono espresse su Datum ED50

### 6.1 PARAMETRI SISMICI

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento Vr:	50 anni
Coefficiente d'uso Cu:	1

	Probabilità superamento %	Tr <i>anni</i>	Ag <i>g</i>	Fo	Tc* <i>sec</i>
Operatività (SLO)	81	30	0,059	2,487	0,263
Danno (SLD)	63	50	0,074	2,464	0,273
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,180	2,386	0,295
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,228	2,387	0,306

### 6.2 COEFFICIENTI SISMICI

	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax	Beta



						<i>m/sec<sup>2</sup></i>	
SLO	1,600	1,960	1,000	0,019	0,009	0,924	0,200
SLD	1,600	1,930	1,000	0,024	0,012	1,162	0,200
SLV	1,530	1,870	1,000	0,066	0,033	2,699	0,240
SLC	1,400	1,850	1,000	0,089	0,045	3,129	0,280

## 7 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-18)

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori, quali le condizioni del terreno, inteso come fattore predisponente, e la sismicità del sito, intesa come fattore scatenante.

Il fenomeno della liquefazione riguarda i terreni, ovvero i suoli costituiti da materiale a comportamento granulare in presenza di falda e con terremoti a magnitudo  $M > 5,0$ .

La situazione del sito è stata caratterizzata da presenza al contatto tra letto alluvionale e substrato litoide locale, ed ai sensi del capitolo 7.11.3.4 delle NTC 2008 il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Per quanto riguarda l'intervento in oggetto, le spalle della passerella sul Torrente Solano saranno appoggiate su fondazioni profonde in modo da trasmettere i carichi direttamente sul substrato litoide costituite da pali che trasferiranno i carichi direttamente al substrato lapideo costituito da argilliti e talora arenarie

Pertanto, vista la situazione litostratigrafica si può affermare che i terreni, sui quali andranno a gravare le fondazioni, non sono soggetti al fenomeno di liquefazione.

## 8 REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI

Per la realizzazione dell'intervento in oggetto saranno indispensabili operazioni di scavo a sezione obbligatoria. La natura e le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti consentono, per la rimozione del terreno utilizzo di escavatori meccanici. Il terreno di risulta, previa caratterizzazione chimica, potrà essere riutilizzato in loco per rinterri e riporti, l'eccedenza, se non riutilizzato in loco, dovrà essere smaltita in luoghi idonei e preventivamente autorizzati.



Gli eventuali riporti, dovranno essere realizzati senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto e pendenza dei terreni, provvedendo al compattamento ed inerbimento del terreno stesso ed evitando che abbiano a verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.

Se verranno rinvenuti materiali lapidei di grosse dimensioni dovranno essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento ed assestamento dello stesso e potranno essere utilizzati sempre in sito, in condizioni di stabilità ed in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali.

I depositi temporanei di materiale terroso e/o lapideo, prodotti durante le fasi di cantiere, dovranno essere realizzati in modo da evitare fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. Tali depositi dovranno inoltre essere posti a debita distanza di sicurezza dai fronti di scavo, al fine di evitare sovraccarichi sui fronti stessi.

## 9 CONCLUSIONI

Alla luce delle indagini svolte e dei risultati ottenuti si ritiene che l'intervento edilizio in progetto PASSERELLA SUL TORRENTE ARCHIANO, da eseguire in Comune di Bibbiena – AR, è compatibile con la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e la caratterizzazione geotecnica dell'area a condizione che siano rigorosamente osservate le indicazioni espresse nei paragrafi precedenti.

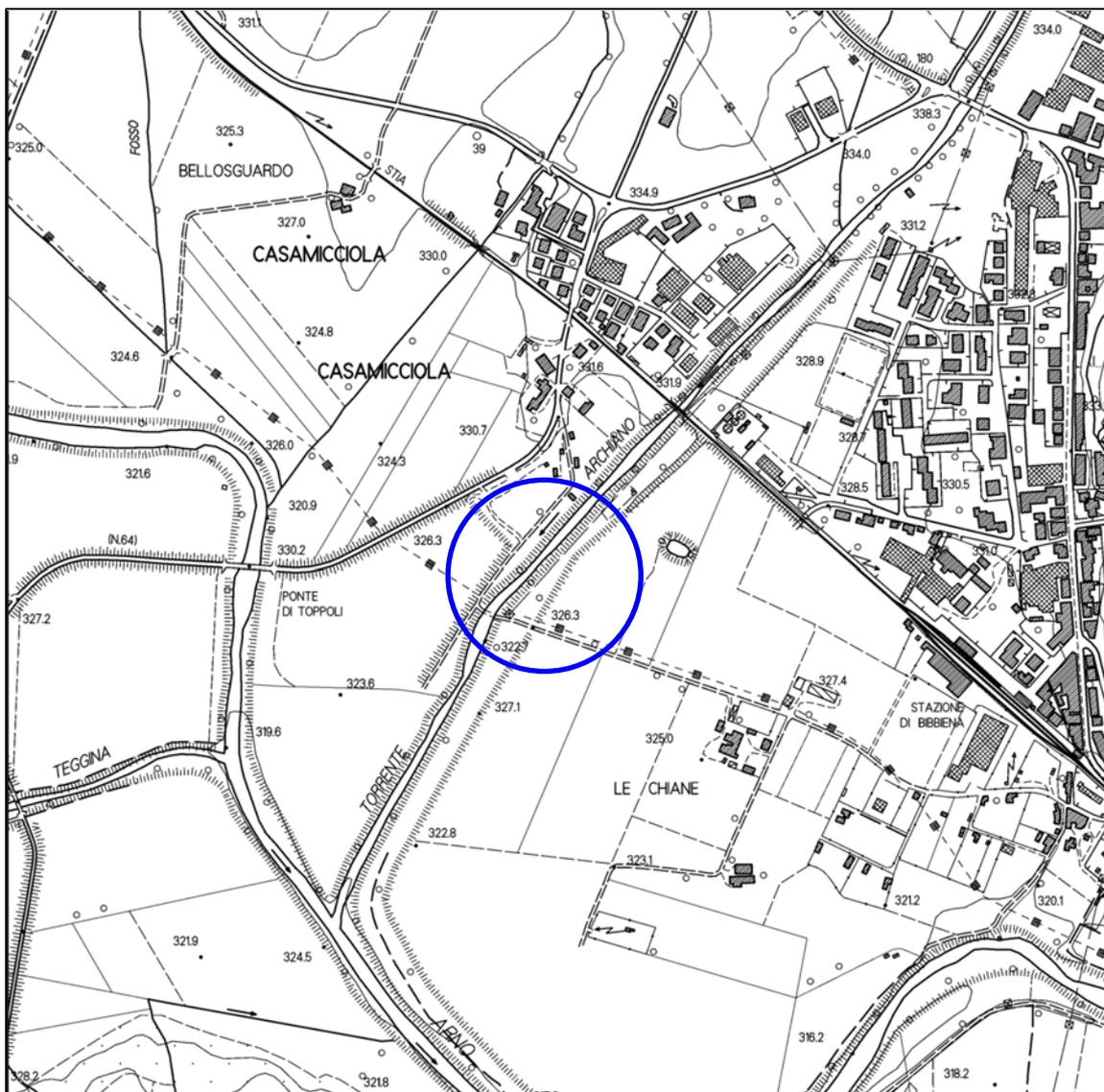
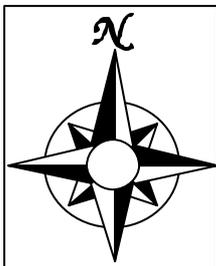
Sarà pertanto sufficiente attenersi alle normali disposizioni legislative. Si ribadisce che il controllo e la gestione del cantiere dovrà essere effettuata dal Direttore dei Lavori e dal Committente, ai quali si rimanda incondizionatamente per quanto riguarda la corretta esecuzione del progetto e la rigorosa osservanza delle indicazioni contenute nella presente relazione.

BADIA PRATAGLIA, li 14/10/2019

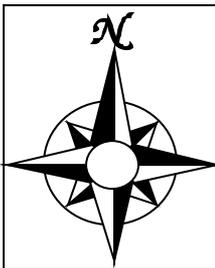
Dott. Geol. LUIGI FARINI  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA  
N° 763



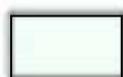
**TAV. 1**  
**INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**  
SCALA 1 : 10.000



**TAV. 2**  
**CARTA GEOLOGICA**  
**SCALA 1 : 5.000**



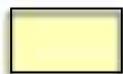
**LEGENDA:**



DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI



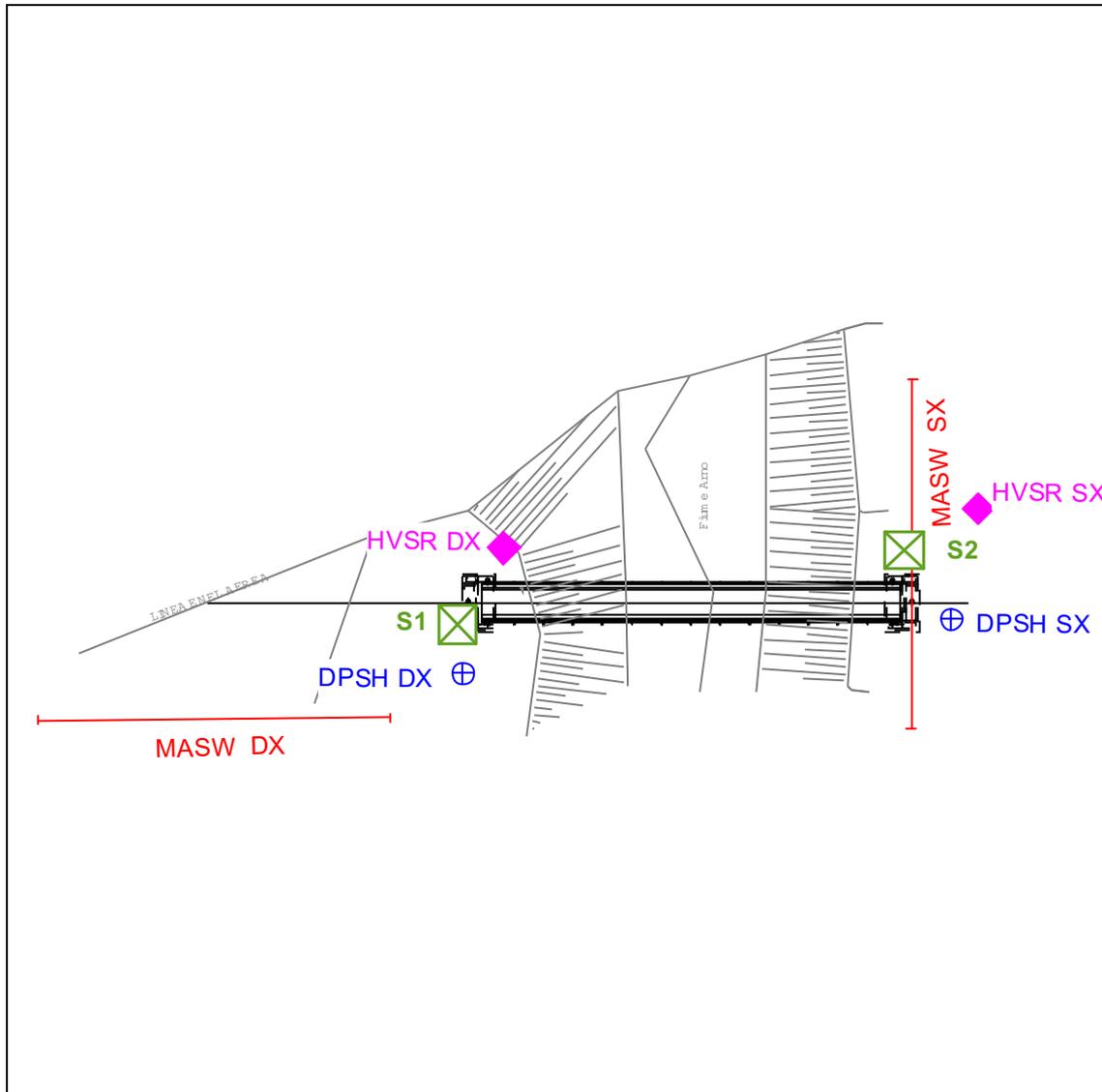
DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI TERRAZZATI



DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI TERRAZZATI



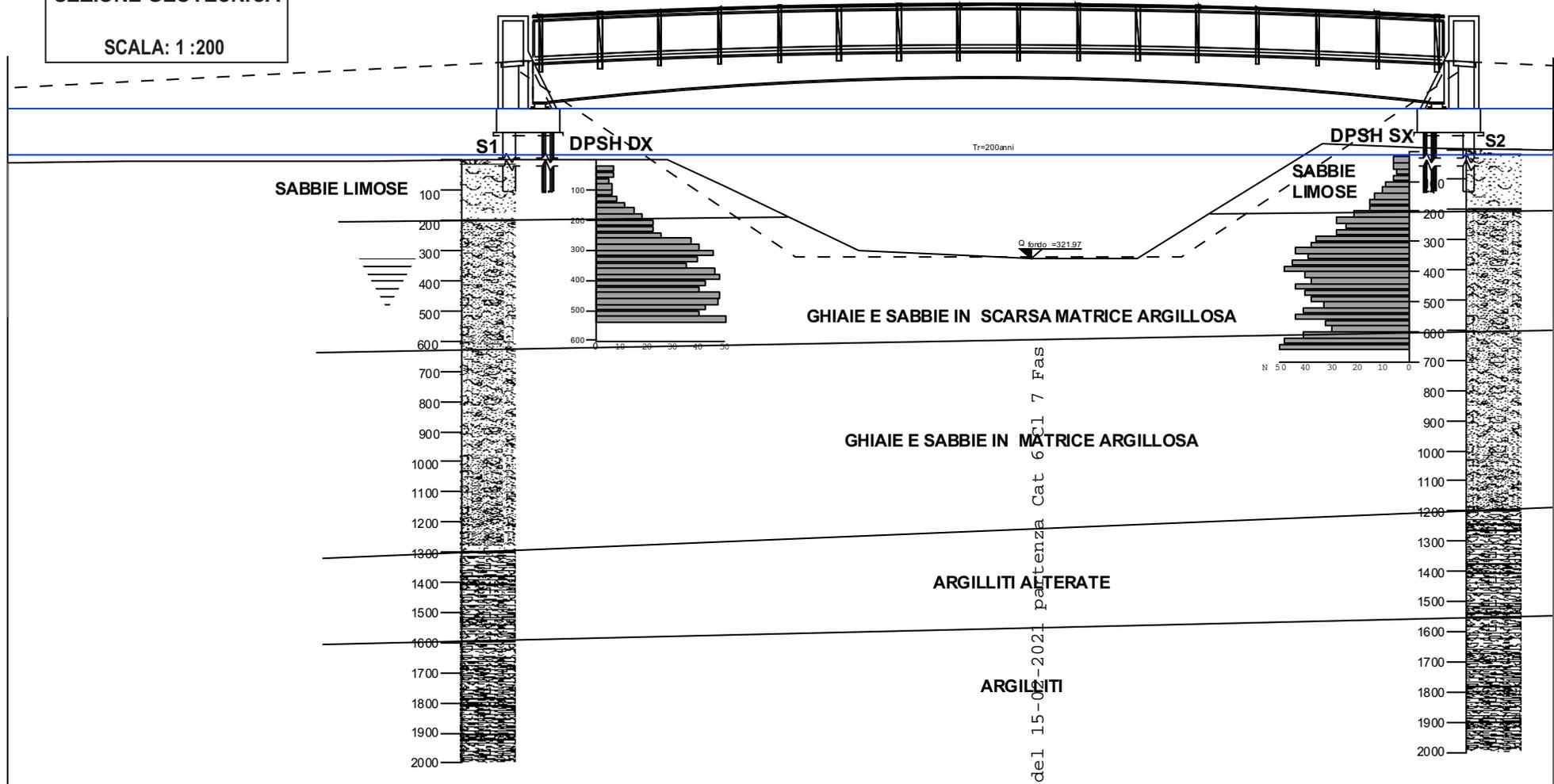
**TAV. 3**  
**PLANIMETRIA INTERVENTO CON**  
**UBICAZIONE INDAGINI**  
 SCALA 1 : 500



	Sondaggio a carotaggio continuo
	Indagine geotecnica: prova penetrometrica dinamica DPSH
	Indagine sismica attiva: Analisi multicanale delle onde superficiali
	Indagine sismica passiva: acquisizione e analisi di rumore sismico ambientale



**TAV. 4**  
**SEZIONE GEOTECNICA**  
SCALA: 1 :200

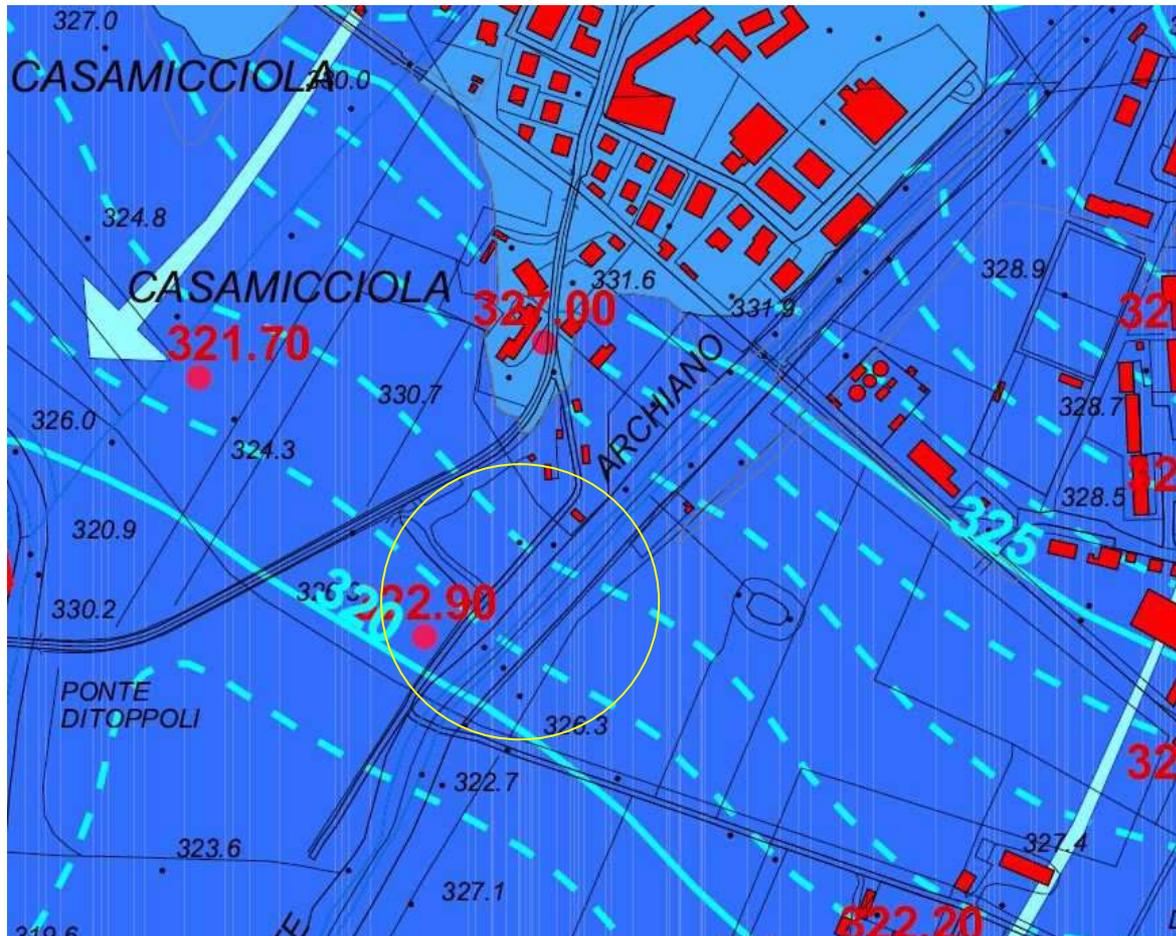


del 15-02-2021 prot. n. 0002808

NUMERO SEZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
DISTANZE PARZIALI		4.00		4.00	1.62	2.38	4.00	4.00	2.04	1.96	4.48	3.52	2.25	1.75	1.81	2.19	4.00	4.00	3.73
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	4.00	8.00	9.62	12.00	16.00	20.00	22.04	24.00	28.48	32.00	33.75	35.56	37.37	40.00	44.00	48.00	51.73	
QUOTE TERRENO	325.56	325.56	325.21	325.22	325.22	325.23	325.24	325.24	324.37	322.22	322.05	322.05	321.97	321.98	323.34	325.76	325.62	325.55	
QUOTE PROGETTO						328.50						328.50					328.50		



**TAV. 5**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI BIBBIENA**  
**CARTA IDROGEOLOGICA**



**LEGENDA :**

**CLASSI DI PERMEABILITA'**

**PERMEABILITA' PRIMARIA**

Permeabilità elevata

Alluvioni recenti e attuali, depositi fluviali terrazzati del penultimo ordine (a, f)



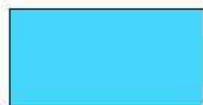
Permeabilità medio-elevata

Depositii fluviali terrazzati del terz'ultimo e del quart'ultimo ordine (f3,f4)



Permeabilità media

Detrito, conoide di deiezione, depositi eluvio-colluviali, depositi fluvio lacustri del Casentino (d, CD, b2, VCa)

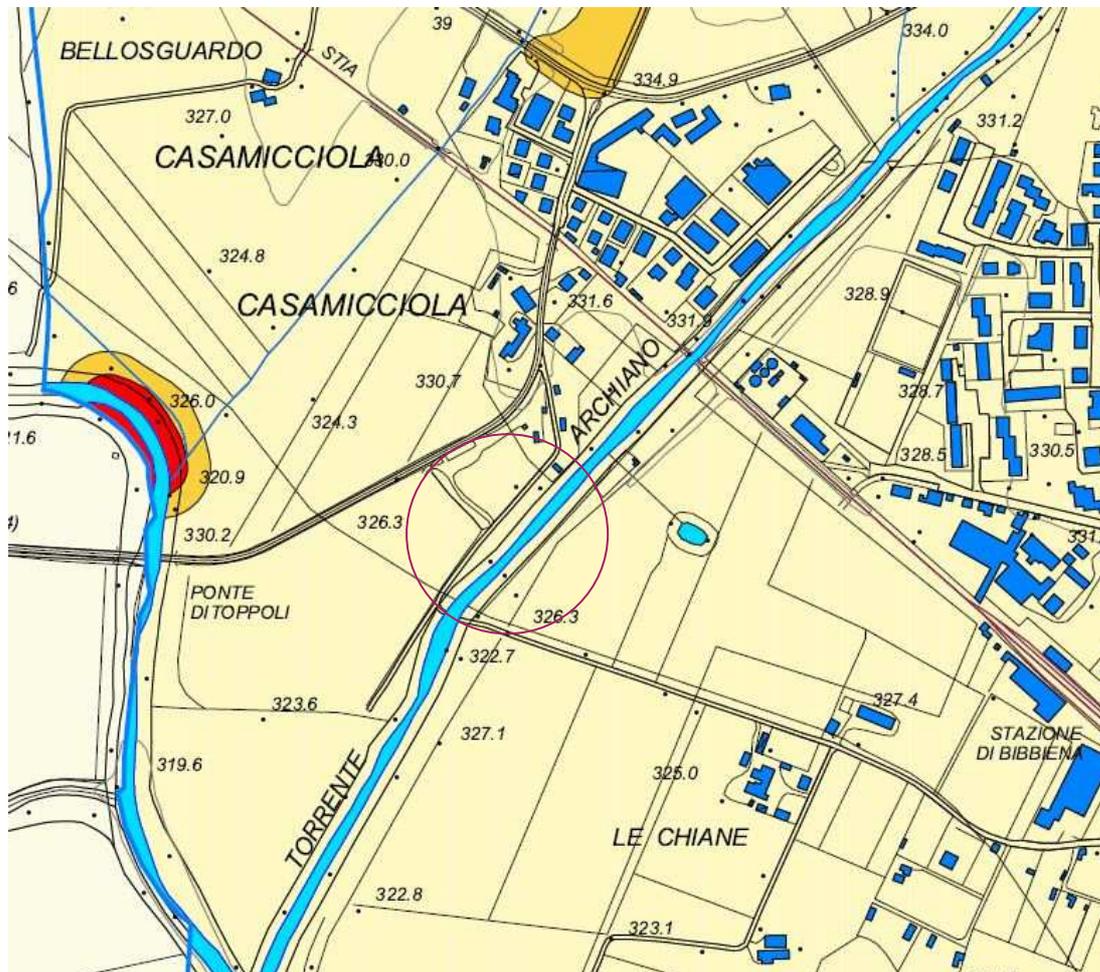


300 m. s.l.m

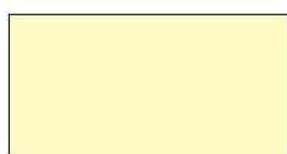
Isofreatiche con quote assolute sul livello del mare



**TAV. 6**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI BIBBIENA**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA**



**LEGENDA :**



**CLASSE 2 - pericolosità bassa**



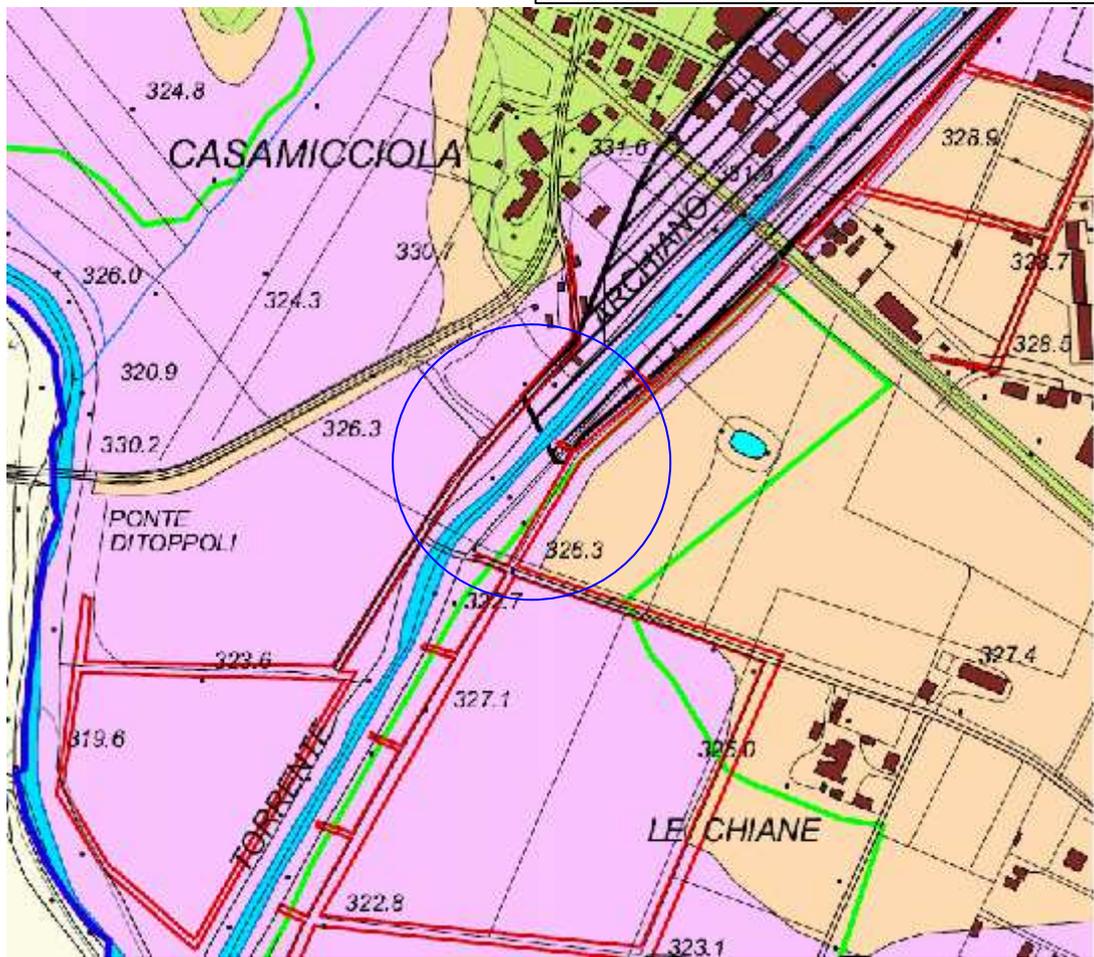
**CLASSE 3 - pericolosità media**



**CLASSE 4 - pericolosità elevata**



**TAV. 7**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI BIBBIENA**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA**



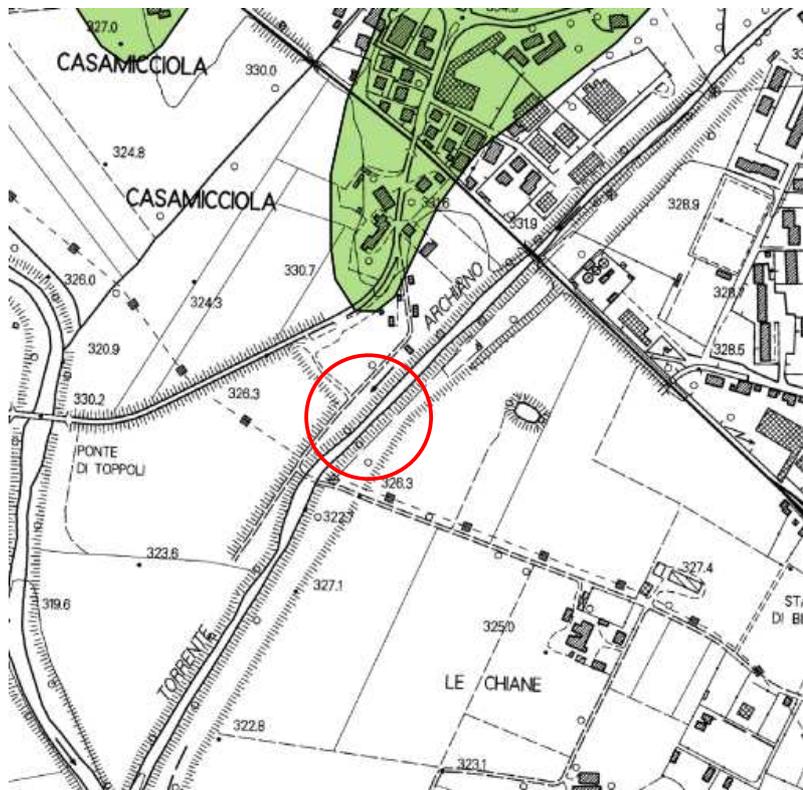
**LEGENDA :**

- CLASSE 1 - pericolosità irrilevante
- CLASSE 2 - pericolosità bassa
- CLASSE 3 - pericolosità media
- CLASSE 4 - pericolosità elevata
- Interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico previsti dall'Autorità di Bacino del fiume Arno
- Aree inondabili per tempi di ritorno di 200 anni secondo modellazione idraulica
- Sistema idraulico



### TAV. 8

#### ESTRATTO DEL P.A.I. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO Perimetrazione aree con pericolosità di frana



**LEGENDA :**

Livello di sintesi in scala 1:25.000

-  P.F. - NC
-  P.F.1 - Pericolosità moderata
-  P.F.2 - Pericolosità media
-  P.F.3 - Pericolosità elevata

#### ESTRATTO DEL P.G.R.A. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DEL FIUME ARNO Mappa del Rischio di Alluvione



**LEGENDA :**

-  P1 - Pericolosità bassa  
(alluvioni rare e di estrema intensità)
-  P2 - Pericolosità media  
(alluvioni poco frequenti)
-  P3 - Pericolosità elevata  
(alluvioni frequenti)



## TABELLA GUIDA PER L'ASSEGNAZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOMORFOLOGICA

TAV. 9

TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/URBANISTICO...	.... in aree di territorio aperto, patrimonio edilizio storico, verde privato, area di interesse archeologico, parco Archiano, zone agricole periurbane			
	GRADO DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA			
	1	2	3	4
1) Scavi e rinterri di qualsiasi genere connessi alle opere di cui al presente abaco	II	II	III	IV
2) Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, interventi di conservazione e/o ripristino delle caratteristiche tradizionali del manufatto ed altri interventi che non comportino sovraccarichi sulle fondazioni	I	I	I	I
3) Ampliamenti, sopraelevazioni ed altri interventi che comportino modesti sovraccarichi sulle fondazioni e nuovi modesti carichi	II	II	II	III
4) Consistenti ampliamenti e sopraelevazioni, nuovi edifici, demolizione e ricostruzione e altri interventi che comportino nuovi cospicui carichi sul terreno o forti sovraccarichi sulle fondazioni	II	II	III	IV
5) Verde pubblico attrezzato e aree di sosta: a) per le parti a verde; b) per piccoli edifici a servizio.	I	I II	I III	I IV
6) Parchi pubblici e zone destinate a verde pubblico attrezzato e impianti sportivi all'aperto: a) per le parti a verde; b) per sistemazioni esterne e movimenti in terra; c) per edifici di servizio (tribune, spogliatoi, costruzioni accessorie).	I	I II II	I III III	I IV IV
7) Zone destinate a parco fluviale o parco urbano: a) sistemazioni a verde; b) per piccoli edifici a servizio, attrezzature per sport all'aperto e tempo libero.	I	I II	I III	I IV
8) Aree destinate all'ampliamento di sede stradale esistente o alla realizzazione di nuovi brevi tratti di viabilità di ingresso, servizio o per il miglioramento dell'attuale viabilità di accesso a zone destinate all'edificazione.	II	III	IV	IV
9) Aree destinate a parcheggi pubblici e/o privati: a) realizzate col mantenimento delle attuali quote b) realizzate con sbancamenti fino a 2.5 m c) realizzate con sbancamenti superiori a 2.5 m o in sotterraneo	II	II II II	III III III	IV IV IV
10) Aree a verde privato: a) orti, giardini, forni, gazebo, pergolati, fontane, pozzi b) garage, parcheggi pertinenziali, box auto	I	I II	I III	I IV



11) Corridoi infrastrutturali fasce di territorio sottoposte a vincolo in funzione di un futuro utilizzo per viabilità principali;	II	II	III	IV
12) Aree destinate a piccoli edifici e impianti di servizio (acquedotto, adduzione e distribuzione gas, cabine trasformazioni (ENEL, impianti telefonia satellitare).	II	II	II	III
13) Restauro su edifici di valore storico architettonico e culturale, risanamento conservativo su edifici di valore storico (con interventi fino alla ristrutturazione edilizia), ristrutturazione edilizia con rialzamento della copertura per adeguamenti strutturali e/o funzionali	I	I	I	I
14) Demolizione senza ricostruzione, ristrutturazione edilizia per adeguamento igienico-sanitario	I	I	I	I
15) Ristrutturazione edilizia con incremento volumetrico, anche tramite completa demolizione e ricostruzione	II	II	III	IV
16) Ristrutturazione edilizia con rialzamento di un piano senza aumento di sup. coperta anche mediante demolizione e ricostruzione	II	II	III	IV
17) Ristrutturazione edilizia per riorganizzazione e ampliamento dei locali accessori	II	II	III	IV
18) Coltivazioni specializzate	I	I	I	I
19) Realizzazione di nuovi edifici rurali ad uso abitativo	II	II	III	IV
20) Realizzazione di annessi agricoli, manufatti per alloggio bestiame e trasformazione e conservazione dei prodotti agricoli, ecc.	II	II	III	IV
21) Realizzazione di recinti per bestiame: a) senza volumi accessori; b) con volumi accessori (tettoie, scuderie e altri annessi di servizio)	I	I II	I II	I III
22) Realizzazione di serre con copertura permanente e altri manufatti precari utili alla conduzione del fondo	I	II	III	IV
23) Realizzazione di invasi e/o laghetti collinari	II	II	III	IV
24) Realizzazione di piccoli impianti sportivi, parcheggi interrati e piscine all'aperto	II	II	III	IV
25) Torri antincendio, rimesse per attrezzi e mezzi soccorso antincendio e locali di ristoro	I	II	III	IV
26) Opere di urbanizzazione primaria e secondaria	II	II	III	IV
27) Sottopassi e/o sovrappassi	II	II	III	IV
28) Acquedotti e/o fognature	I	II	III	IV
29) Sbancamenti e movimenti consistenti di terra, trasformazione di assetti del territorio con modifiche al profilo morfologico; sistemazioni agrarie che comportino movimenti di terra	II	III	III	IV
30) Messa in opera di depositi GPL	I	I	III	III



## TAV. 10

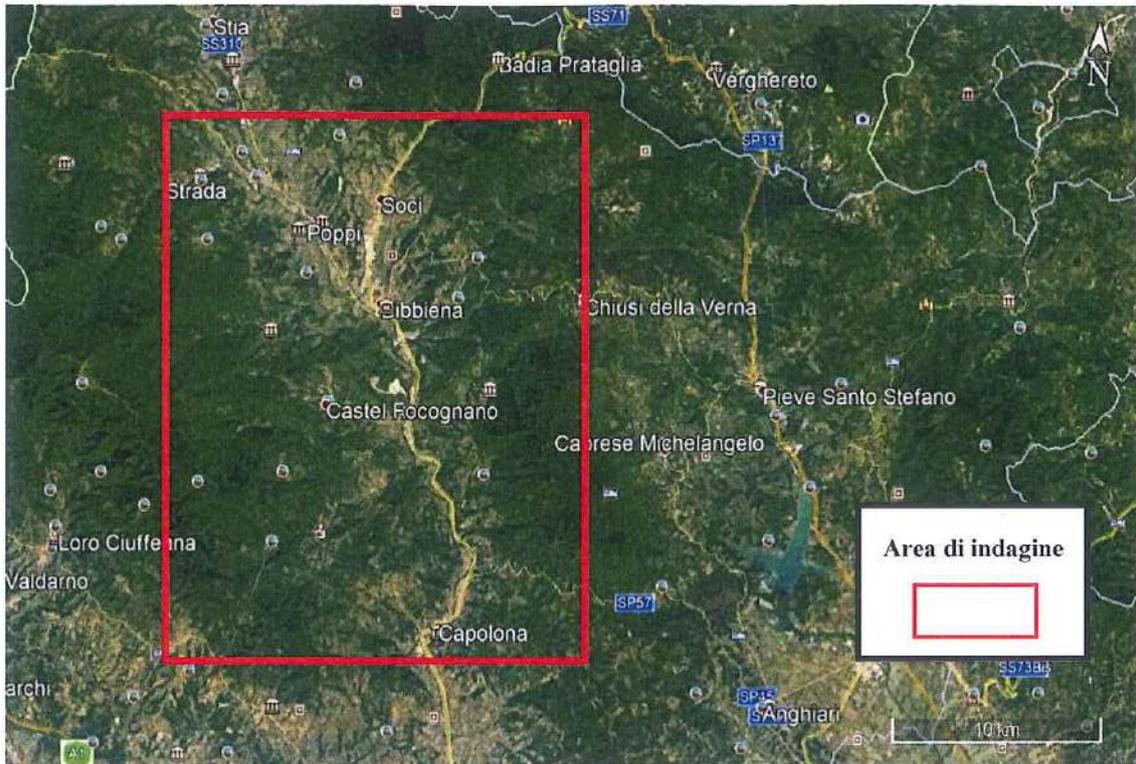
## TABELLA GUIDA PER L'ASSEGNAZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITÀ IDRAULICA

TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/ URBANISTICO...	... in aree di territorio aperto, patrimonio edilizio storico, verde privato, area di interesse archeologico, parco Archiano, zone agricole periurbane			
	GRADO DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA			
	1*	2	3	4
<b>INTERVENTI SUL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE</b>				
Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, interventi di conservazione e/o ripristino delle caratteristiche tradizionali del manufatto, ristrutturazione edilizia senza ampliamenti e senza aumento del carico urbanistico.	I	I	I	I
Ristrutturazione edilizia senza ampliamenti di superficie coperta e volumetria, con aumento del carico urbanistico.	I	I	III	IV
Demolizione senza ricostruzione.	I	I	I	I
Demolizione e ricostruzione, ristrutturazione urbanistica senza aumento di volumetria e superficie coperta.	I	II	III	IV
<b>NUOVI INTERVENTI</b>				
Nuovi edifici, parcheggi, viabilità, ampliamenti di superficie coperta e volumetria anche con intervento di ristrutturazione urbanistica.	I	II	III	IV
Riporti	I	II	III*	III*
Corridoi infrastrutturali destinati alla realizzazione di nuova viabilità	I	II	III	IV
Impianti sportivi e verde pubblico attrezzato senza nuove volumetrie.	I	I	II	III
Scavi e sbancamenti.	I	I	I	I
Messa in opera di depositi GPL.	I	I	III <sup>§</sup>	III <sup>§</sup>



INDAGINI GEOGNOSTICHE:  
STRATIGRAFIA SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO  
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE





Lavoro:

## LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Commessa N°: <p style="text-align: center;">082S-2019</p>	Elaborato: <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO</b></p>	
Rev: <p style="text-align: center;">1.1</p>	Committente:  <b>UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO</b>	
Redazione: 		Verifica: 
Approvazione: 		Consegnato:
Ns. Rif:	Timbro: <b>CAM PERFORAZIONI S.r.l.</b> Unipersonale Viale Vanzolini 38 61121 PESARO (PU) Cod. Fisc. e P. IVA 01511320432	Firma: 

Proprietà riservata. Riproduzione anche parziale consentita solo previa autorizzazione scritta



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:  
RAPPORTO TECNICO

Committente:  
UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 2 di 17

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROVE PENETROMETRICHE.....</b>	<b>7</b>
2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH .....	7
2.1.1 CORRELAZIONE $N_{SPT}$ .....	8
2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA .....	8
2.1.3 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE .....	9
2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI .....	9
2.1.5 RESTITUZIONE DATI .....	10
2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT.....	10
2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE.....	11
2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI .....	12
2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (AUTORI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI):.....	12
<b>3 SONDAGGIO GEOTECNICO .....</b>	<b>13</b>
3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO .....	14
3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE .....	15
3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO .....	15
3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST) .....	15

## APPENDICE

- Tavola 1: Ubicazione indagini (loc. Archiano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Archiano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Archiano)
  
- Tavola 2: Ubicazione indagini (loc. Corsalone)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Corsalone)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Corsalone)
  
- Tavola 3: Ubicazione indagini (loc. Solano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Solano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Solano)
  
- Tavola 4: Ubicazione indagini (loc. Burlazzo)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Burlazzo)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Burlazzo)

## 1. PREMESSA

Il presente Rapporto Tecnico illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche eseguita su incarico della committenza UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO in varie località situate lungo il tratto del fiume Arno Casentino.

La campagna di indagine è stata svolta secondo il seguente programma:

- Esecuzione di **n° 8** prove penetrometriche dinamiche "DPSH" e statiche "CPT", come indicato nella tabella seguente:

Località	Profondità (m)	Data
ARCHIANO DX	5,40(DPSH)	28/08/2019
ARCHIANO SX	6,60(DPSH)	28/08/2019
CORSALONE DX	2,80(CPT)/6,20(DPSH)	27/08/2019
CORSALONE SX	6,60(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO DX	3,00(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO SX	3,20(DPSH)	27/08/2019
SOLANO DX	2,80(DPSH)	26/08/2019
SOLANO SX	1,80(DPSH)	26/08/2019

Tab.1 – Elenco delle prove penetrometriche

- Esecuzione di **n° 8** sondaggi a carotaggio secondo la seguente tabella:

Sondaggio n.	Località	Profondità (m)	Data
S1 (DX)	Archiano	20.00	27-28/08/2019
S2 (SX)		20.00	06-07/08/2019
S1 (DX)	Corsalone	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	31/08 - 03/09 /2019
S1 (DX)	Burlazzo	20.00	28-29/08/2019-
S2 (SX)		20.00	02-03/09/2019
S1 (DX)	Solano	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	29/08/2019

Tab.2 – Elenco sondaggi geognostici

- esecuzione di **n°25** prove SPT in foro, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Prova	Prof. (m)	n° colpi	Punta Chiusa/ Punta Aperta
S1 Archiano DX	SPT1	3.00-3.35	22-38-R(5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.25	28-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.40	24-43-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.25	18-R (10cm)	Punta Chiusa
S2 Archiano SX	SPT1	4.00-4.20	17-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	24-35-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.80-10.00	39-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	13.00-13.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Corsalone DX	SPT1	3.00-3.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.04	R (4cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.19	42-R (4cm)	Punta Chiusa
S2 Corsalone SX	SPT1	3.00-3.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Burlazzo DX	SPT1	3.00-3.20	46-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.10	R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	12.00-12.20	36-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Burlazzo SX	SPT1	3.00-3.45	15-18-32	Punta Aperta
	SPT2	6.15-6.55	18-42-R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Solano DX	SPT1	4.00-4.20	41-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	22-38-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Solano SX	SPT1	3.00-3.45	10-13-15	Punta Aperta
	SPT2	6.00-6.35	27-42-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.28	40-R (13cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa

Tab.3 – Elenco prove SPT eseguite.

- prelievo di n°46 campioni rimaneggiati, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Campione n.	Prof. (m)	data
<b>S1 Archiano DX</b>	CRSPT1	3.00-3.35	27/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.25	27/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.40	27/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.25	27/08/2019
	CR1	15.40-15.90	28/08/2019
	CR2	19.00-19.50	28/08/2019
<b>S2 Archiano SX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	06/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	06/08/2019
	CRSPT3	9.80-10.00	06/08/2019
	CRSPT4	13.00-13.10	06/08/2019
	CR1	16.50-16.70	07/08/2019
<b>S1 Corsalone DX</b>	CRSPT1	3.00-3.05	30/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.04	30/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.05	30/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.19	30/08/2019
	CR1	17.60-18.00	31/08/2019
	CR2	19.50-20.00	31/08/2019
<b>S2 Corsalone SX</b>	CRSPT1	3.00-3.40	31/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.10	31/08/2019
	CR1	9.50-9.80	31/08/2019
	CR2	14.40-14.80	03/09/2019
	CR3	16.00-16.40	03/09/2019
<b>S1 Burlazzo DX</b>	CRSPT1	3.00-3.20	28/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.10	28/08/2019
	CR1	8.60-8.80	28/08/2019
	CRSPT3	12.00-12.20	29/08/2019
	CR2	15.60-16.00	29/08/2019
	CR3	17.60-18.00	29/08/2019
<b>S1 Burlazzo SX</b>	CRSPT1	3.00-3.45	02/09/2019
	CRSPT2	6.15-6.55	02/09/2019
	CR1	9.50-10.00	03/09/2019
	CR2	14.00-14.30	03/09/2019
	CR3	15.70-16.00	03/09/2019
	CR4	19.70-20.00	03/09/2019
<b>S1 Solano DX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	30/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	30/08/2019
	CR1	10.70-11.00	30/08/2019
	CR2	15.00-15.40	30/08/2019
	CR3	17.40-17.80	31/08/2019
	CR4	19.50-20.00	31/08/2019

<b>S2 Solano SX</b>	<b>CRSPT1</b>	3.00-3.45	29/08/2019
	<b>CRSPT2</b>	6.00-6.35	29/08/2019
	<b>CRSPT3</b>	9.00-9.28	29/08/2019
	<b>CRSPT4</b>	12.00-12.40	29/08/2019
	<b>CR1</b>	15.30-15.70	29/08/2019
	<b>CR2</b>	17.00-17.50	29/08/2019

Tab.4 – Elenco campioni rimaneggiati.

Le carote di terreno prelevate durante l'esecuzione dei sondaggi sono state riposte in apposite cassette catalogatrici a scomparti, delle quali è stato redatto un rapporto stratigrafico e fotografico, riportato in appendice.

Negli allegati che seguiranno sono inoltre riportate le restituzioni numeriche e grafiche delle prove in sito eseguite.

## 2. PROVE PENETROMETRICHE

### 2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento per tratti consecutivi di lunghezza standard.

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

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consentono di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una parametrizzazione per la caratterizzazione stratigrafica.

Tale parametrizzazione, ricavata da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattata con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche del presente rapporto, è stato utilizzato un penetrometro "PAGANI" TG 63- 200 kN, con le seguenti caratteristiche:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75m
Peso sistema di battuta	0,63Kg
Diametro punta conica	51,00mm
Area di base punta	20,43cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	90°
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	6,31Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40m
Avanzamento punta	0,20m
Numero colpi per punta	N <sub>(20)</sub>
Coeff. Correlazione	1,472
Rivestimento/fanghi	No

### 2.1.1 CORRELAZIONE N<sub>spt</sub>

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<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>.

Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> 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.
- d passo di avanzamento.

### 2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA

*Formula Olandesi*

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

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

### 2.1.3 METOLOGIA DI ELABORAZIONE

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

### 2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI

- **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato).

- **Pressione ammissibile**

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

### 2.1.5 RESTITUZIONE DATI

La restituzione dei dati di campagna, contempla una prima tabella con indicati la profondità, il numero dei colpi per l'avanzamento caratteristico di 20 cm, il coefficiente di riduzione caratteristico e le relative resistenze dinamiche. Alla tabella numerica segue una parametrizzazione indicativa determinata sulla base di una suddivisione in strati omogenei per numero di colpi sui quali vengono determinati i principali parametri geotecnici.

### 2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

La prova penetrometrica statica viene realizzata infiggendo nel terreno la speciale punta "Begemann" avente le seguenti caratteristiche geometriche:

DIAMETRO DELLA PUNTA	35.7 m
ANGOLO DI APERTURA DEL CONO	60°
AREA DI BASE DEL CONO	10 cm <sup>2</sup>
DIAMETRO DEL MANICOTTO D'ATTRITO	36 mm
SUPERFICIE LATERALE MANICOTTO	150 cm <sup>2</sup>

Detta punta penetra mediante una pressione del gruppo di spinta idraulica del penetrometro, alla velocità standardizzata di 2 cm/sec, ed è raccordata mediante una filettatura conica ad una serie di aste  $\Phi=36 \times 1000$  mm, che alloggiato al loro interno una serie di astine  $\Phi=15$  mm.

Tramite l'utilizzo di un selettore composto da una cella di carico e da una centralina elettronica digitale, si acquisiscono i valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta ( $Q_c$ ) e allo scorrimento contemporaneo del manicotto di frizione e del corpo punta (sforzo totale  $Q_t$ ).

La cella di carico è dotata di un trasduttore estensimetrico in grado di convertire lo sforzo di spinta in un segnale elettrico, che opportunamente condizionato e amplificato, viene visualizzato sul display digitale della centralina di acquisizione sopra menzionata.

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 11 di 17

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta

Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto

Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

## 2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP** ) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico, che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$$A_p = \text{l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann" )} = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \text{area del manicotto di frizione} = 150 \text{ cm}^2$$

$$C_t = \text{costante di trasformazione} = 10$$

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza alla punta**

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza laterale**

$Q_c (RP)$  = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Superficie Punta  $A_p$

$Q_l (RL) (fs)$  = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct /  $A_m$  area del manicotto di frizione.

La resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto alla quota della prima lettura della punta.

**N.B.**

$$A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

## 2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI

- **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato.

- **Correlazioni**

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

## 2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento utilizzati):

Begemann 1965 (consigliato per CPT)

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 13 di 17

### 3 SONDAGGIO GEOTECNICO

Il sondaggio geotecnico a "carotaggio continuo" consiste nella perforazione a rotazione in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità ed osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

### 3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione CMV MK 600D carrocingolata, aventi le seguenti caratteristiche:

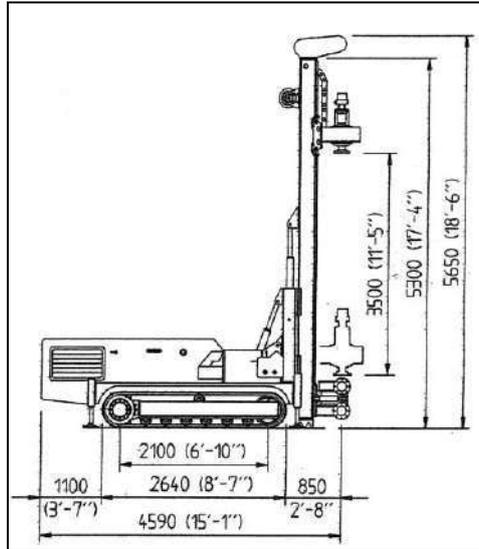


Fig.1 – Sonda perforatrice tipo "CMV MK 420 F"

<b>SOTTOCARRO</b>	type	BERCO		
Lunghezza	mm	2540	(8'-7")	
Larghezza	mm	1800	(5'-10")	
Pattini	mm	300	(11")	
Rulli	no.	6		
Stabilizzatori	no.	4		
<b>MOTORE DIESEL</b>	type	Deutz F4L 912		
Potenza	Sbp	75		
Insonorizzazione	dB	70		
Serbatoio carburante	lt	90	(gal. 23)	
Serbatoio olio idraulico	lt	290	(gal. 76)	
<b>MAST</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Lunghezza	mm	5300 (17)	3800 (12')	2100 (7')
Corse tavola rotary	mm	3500 (11')	2200 (7')	1150 (4')
Spinta sull'unitaria	kg	1500	(lb. 3307)	
Forza di estrazione	kg	2500	(lb. 5512)	
Traslazione verticale	mm	700	(2'-3")	
<b>MORSE</b>				
Morsa di bloccaggio dia.	mm	60/220	(2'-9")	
Morsa sviatrico dia.	mm	60/220	(2'-9")	
<b>ARGANO</b>				
Capacità tamburo	m	65	(213')	
<b>TAVOLA ROTARY</b>				
Coppia	kgm	100 - 600	(lb.ft 723 - 4340)	
Velocità Min. - Max.	rpm	342 - 32		
Passaggio testa di adduzione	inch	2"		
Stidramatic	mm	450	(18")	
<b>PESO TOTALE</b>	kg	9000	(lb. 19845)	
<b>APPLICAZIONI</b>				
Top hammer (drifter)	type	Knupp HB 20A		
Colpi al minuto	min-1	2800		
<b>Jet Grouting</b>				
Profondità max.	m	11	(36')	
Diametro aste	mm	60-76	(2'-3")	
Timer	type	Digital		
<b>ACCESSORI</b>				
Lubrificazione di linea	lt	17	(gal 5)	
Pompa acqua	l/min - bar	120 - 20	(gal 31 - 290 psi)	
Pompa schiumogeni	l/min - bar	30-30	(gal 15 - 435 psi)	
Pompa scartatrice	l/min - bar	15-150	(gal 4 - 2175 psi)	

Fig.2 - tabella caratteristiche tecniche sonda perforatrice tipo "CMV MK 600F"

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 15 di 17

### 3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

Le perforazioni sono state eseguite a rotazione a "carotaggio continuo", utilizzando in funzione dei terreni da campionare carotieri di tipo semplice e carotieri T6S con corone al widia. Il preforo è stato rivestito con tubazione provvisoria Ø 127mm.

Il tipo di utensile adottato per ogni sondaggio è stato specificato nelle stratigrafie allegate.

## 3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO

### 3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST)

Le prove di resistenza alla penetrazione "SPT" sono state eseguite secondo le modalità indicate dalle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana" del 1977.

Tali prove si eseguono preferibilmente in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia si possono eseguire in qualsiasi terreno sciolto e su alcune rocce tenere allo scopo di determinare grado di addensamento / consistenza / resistenza.

Si riassumono brevemente le caratteristiche tecniche della prova "SPT":

Campionatore:

- Raymond di diametro esterno 51 mm, diametro interno 35 mm, lunghezza minima 457 mm, con scarpa standard a punta aperta come utensile di penetrazione
- punta conica chiusa di diametro esterno 51 mm e angolo di 60°

Aste collegate al campionatore di diametro esterno 50 mm e peso di 7.5 kg al metro lineare

Dispositivo di battuta avente peso non superiore a 115 Kg, comprende:

- testa di battuta in acciaio avvitata all'estremità della batteria di aste
- massa battente o maglio di 63.5 kg
- dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che assicura una corsa a caduta libera di 76 cm.

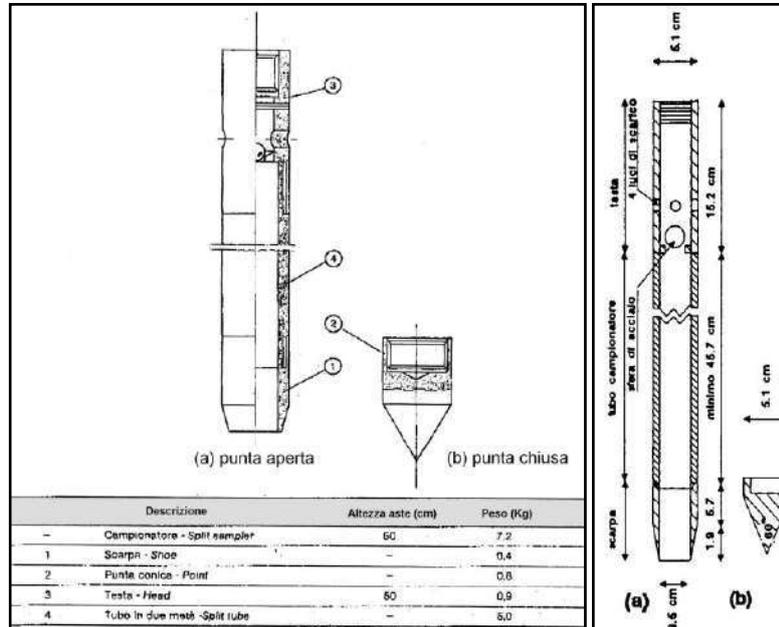


Fig.3 – Campionatore a punta aperta (a) - a punta chiusa (b).

Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la pulizia del foro (tolleranza di +/- 7 cm); la prova consiste nel fare penetrare il campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1, N2, N3).

Con il primo tratto detto avviamento si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con N1 = 100 ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi (N2+N3) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto è:

$$N_{spt} = N2 + N3$$

che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.

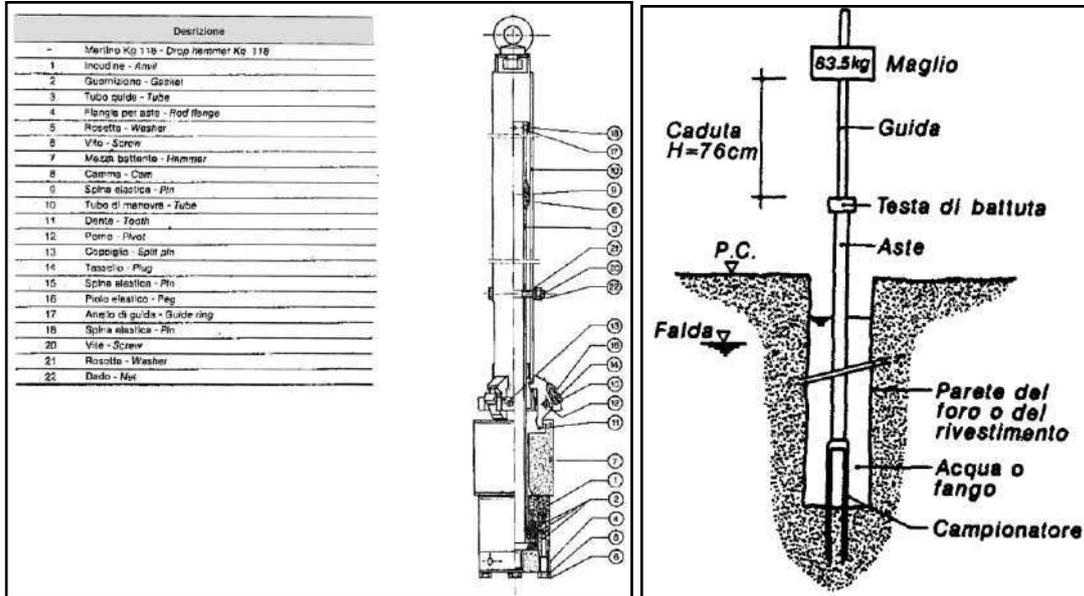
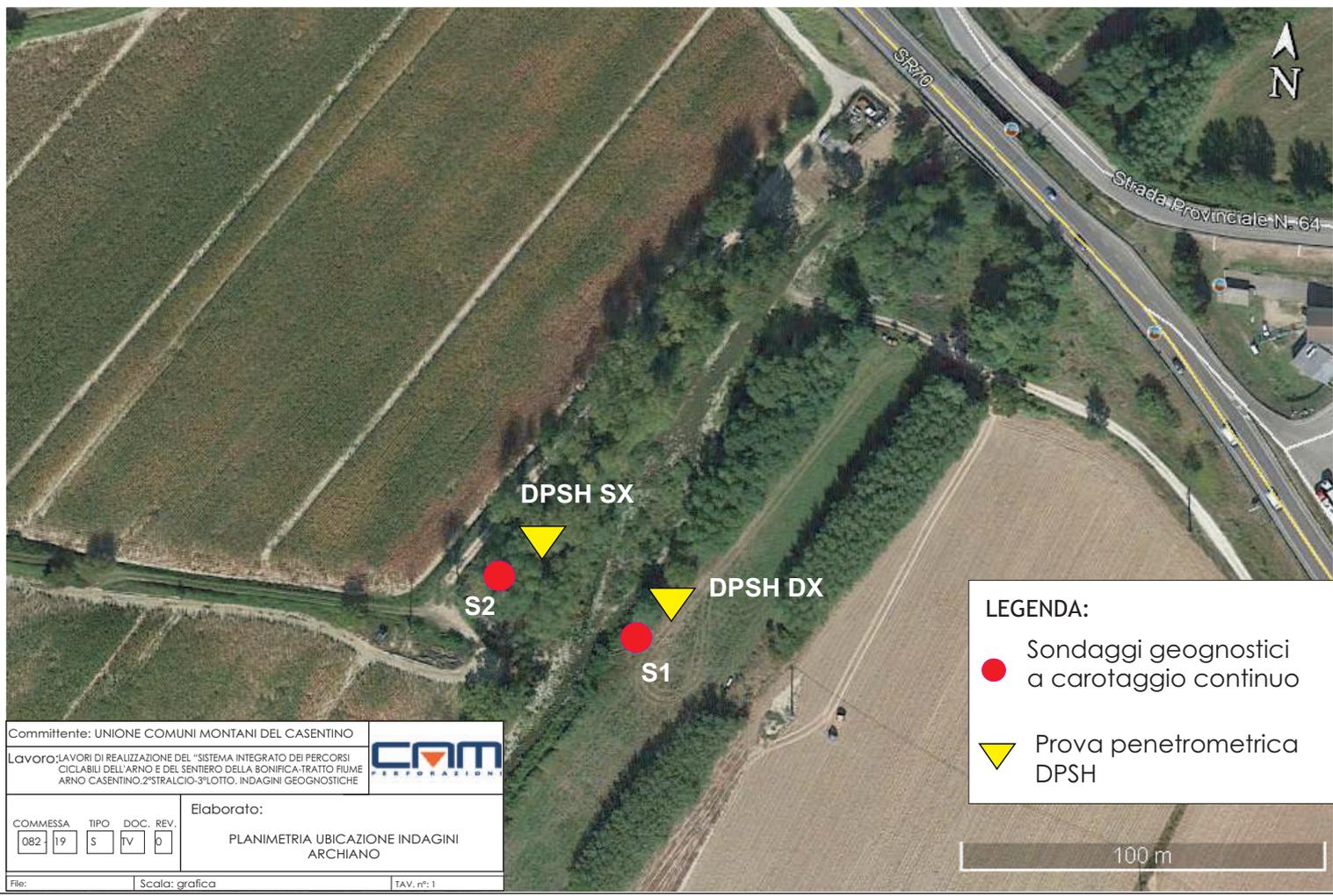


Fig.4- Penetrometro dinamico SPT.

Falconara Marittima, Agosto 2019

Dott. Geol. Paolo Spallacci

**APPENDICE**



Committente: UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO			
Lavoro: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO, 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE			
Elaborato:			
PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI ARCHIANO			
COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
082	19	S	IV 0
File:	Scala: grafica	TAV. n°: 1	

- LEGENDA:**
- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo
  - ▼ Prova penetrometrica DPSH





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S1	ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA	
Cantiere	ARCHIANO DX	Rivestimento	127 mm	CMV MK 600F	
Data Inizio	27/08/2019	Data Fine	28/08/2019	Il geologo	
				Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone	

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD
1	0.10	0.10		Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso color marrone con apparati radicali e resti vegetali.					
2	2.00	1.90		Sabbie debolmente limose color marrone a granulometria medio-fine da sciolte a scarsamente addensate. Da metri 1.50 sabbie limose color marrone con ghiaia.					
3				Ghiaie con clasti sub-arrotondati, poligenici (prevalentemente di natura calcarea, calcareo-marnosa), eteromorfi e con dimensioni maggiori di 5-6 centimetri in abbondante matrice sabbioso-limosa color marrone-grigiastra.			3.00 - 3.00 22-38-R 5cm(P.C) CRSPT1 3.35 - 3.35		
4									
5									
6				Da metri 5.40 aumentano dimensioni (talvolta maggiori anche di 8-9 centimetri) ed arrotondamento dei clasti.			6.00 - 6.00 28-R 10cm(P.C) CRSPT2 6.25 - 6.25		
7				Da metri 6.00 matrice sabbioso-limosa color marrone-rossiccio					
8									
9									
10					Semplice (101mm)	16.50	9.00 - 9.00 24-43-R 10cm(P.C) CRSPT3 9.40 - 9.40		
11									
12									
13	13.00						12.00 - 12.00 18-R 10cm(P.C) CRSPT4 12.25 - 12.25		
14				Argilliti color grigiastro-nerastro a struttura scagliosa talvolta con riconoscibile struttura piano-parallela con all'interno litoidi di dimensioni centimetriche di natura calcareo, calcareo-marnosa con vene ed inclusioni calcitiche.					
15				Il materiale si presenta molto fratturato da metri 17.40					
16								15.40 - 15.90 CR1	
17		7.00							80%
18				A metri 17.00 e metri 17.30 fratture inclinate di circa 40-45°.	T6S				50%
19								19.00 - 19.50 CR2	
20	20.00								55%

Sondaggio n° **S1 ARCHIANO DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S1 ARCHIANO DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



### PROVA DPSH Archiano Dx

Strumento utilizzato      DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data    29/08/2019  
 Profondità prova          5,40 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	7	0,851	6,14	7,21	306,83	360,64
0,60	7	0,847	5,61	6,62	280,35	330,99
0,80	5	0,843	3,99	4,73	199,38	236,42
1,00	6	0,840	4,76	5,67	238,25	283,71
1,20	6	0,836	4,75	5,67	237,26	283,71
1,40	8	0,833	6,30	7,57	315,06	378,28
1,60	11	0,830	7,97	9,61	398,70	480,62
1,80	15	0,776	10,18	13,11	508,80	655,39
2,00	18	0,773	12,16	15,73	608,09	786,47
2,20	22	0,720	13,84	19,22	692,21	961,24
2,40	22	0,717	13,79	19,22	689,35	961,24
2,60	25	0,714	14,50	20,30	725,10	1015,20
2,80	37	0,661	19,88	30,05	993,78	1502,49
3,00	40	0,609	19,77	32,49	988,68	1624,31
3,20	45	0,606	22,15	36,55	1107,38	1827,35
3,40	39	0,603	19,11	31,67	955,61	1583,70
3,60	35	0,651	17,28	26,55	864,06	1327,54
3,80	46	0,598	20,88	34,90	1044,09	1744,77
4,00	48	0,596	21,70	36,41	1085,14	1820,63
4,20	42	0,594	18,92	31,86	945,79	1593,05
4,40	40	0,591	17,95	30,34	897,32	1517,19
4,60	48	0,589	20,13	34,16	1006,41	1707,99
4,80	47	0,587	19,64	33,45	981,87	1672,40
5,00	42	0,585	17,49	29,89	874,31	1494,49
5,20	40	0,583	16,60	28,47	829,80	1423,32
5,40	>50					

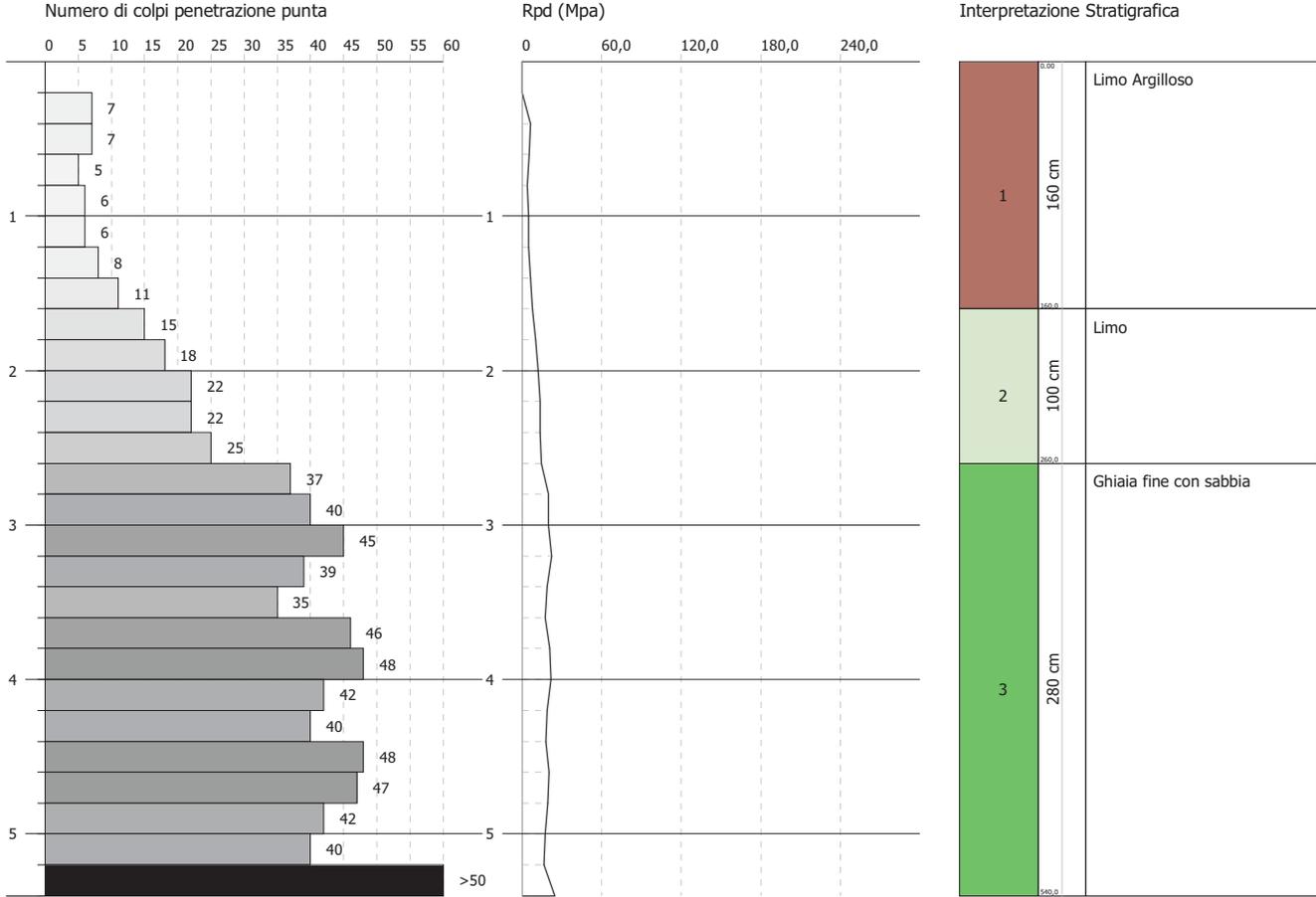
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1,6	6,25	5,89	Coesivo	1,47	9,2	Limo Argilloso
2,6	20,4	17,52	Incoerente	1,47	30,03	Limo
5,4	43,5	32,82	Incoerente	1,47	64,03	Ghiaia fine con sabbia

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Archiano Dx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Archiano Dx  
 Località: Arno Casentino

Data: 29/08/2019

Scala 1:50





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S2 ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA CMV MK 600F
Cantiere	ARCHIANO SX	Rivestimento	127 mm	Il geologo
Data Inizio	06/08/2019	Data Fine	07/08/2019	Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD
1	0.10	0.10		Terreno vegetale sabbioso debolmente limoso color marrone con apparati radicali e resti vegetali.					
2	2.00	1.90		Sabbie debolmente limose color marrone chiaro fino a metri 1.00 poi di colore grigiastro a granulometria medio-fine da moderatamente addensate ad addensate. Da metri 1.45 colorazione tendente al marrone-giallastro con locali livelli millimetrici organici nerastri. Da metri 1.90 a metri 2.15 sabbie limose con ghiaia.			4.00 - 4.00 17-R 5cm(P.C) CRSPT1 4.20 - 4.20		
3				Ghiaie con clasti sub-arrotondati, poligenici (prevalentemente di natura calcarea, calcareo-marnosa), eteromorfi e con dimensioni maggiori di 5-6 centimetri in abbondante matrice sabbioso-limosa color marrone-grigiastra.			7.00 - 7.00 24-35-R 5cm(P.C) CRSPT2 7.35 - 7.35		
4									
5									
6									
7									
8									
9		10.00		Da metri 8.00 aumentano dimensioni (talvolta maggiori anche di 8-9 centimetri) ed arrotondamento dei clasti.			9.80 - 9.80 39-R 5cm(P.C) CRSPT3 10.00 - 10.00		
10									
11				Da metri 10.00 abbondante matrice sabbioso-limosa color marrone-rossiccio.	Semplice (101mm)	18.00			
12	12.00			Argilliti color grigiastro-nerastro a struttura scagliosa talvolta con riconoscibile struttura piano-parallela con all'interno litoidi di dimensioni centimetriche di natura calcareo, calcareo-marnosa con vene ed inclusioni calcitiche. Il materiale si presenta molto fratturato.			13.00 - 13.00 R 10cm(P.C) CRSPT4 13.10 - 13.10		
13									
14									
15									
16									
17		8.00						16.50 CR1 16.70	55%
18									50%
19									40%
20	20.00			Da metri 18.50 frattura inclinata di circa 40-45°.	T6S				

Sondaggio n° **S2 ARCHIANO SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S2 ARCHIANO SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



### PROVA DPSH Archiano Sx

Strumento utilizzato DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 28/08/2019  
 Profondità prova 6,60 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	6	0,851	5,26	6,18	262,99	309,12
0,60	6	0,847	4,81	5,67	240,30	283,71
0,80	5	0,843	3,99	4,73	199,38	236,42
1,00	6	0,840	4,76	5,67	238,25	283,71
1,20	9	0,836	7,12	8,51	355,88	425,56
1,40	10	0,833	7,88	9,46	393,82	472,85
1,60	13	0,780	8,86	11,36	442,79	568,01
1,80	15	0,776	10,18	13,11	508,80	655,39
2,00	15	0,773	10,13	13,11	506,74	655,39
2,20	21	0,720	13,21	18,35	660,75	917,55
2,40	28	0,717	17,55	24,47	877,35	1223,40
2,60	24	0,714	13,92	19,49	696,09	974,59
2,80	28	0,711	16,18	22,74	808,90	1137,02
3,00	36	0,659	19,26	29,24	962,90	1461,88
3,20	38	0,656	20,25	30,86	1012,27	1543,10
3,40	44	0,603	21,56	35,73	1078,12	1786,74
3,60	39	0,601	17,78	29,59	888,85	1479,26
3,80	45	0,598	20,43	34,14	1021,40	1706,84
4,00	48	0,596	21,70	36,41	1085,14	1820,63
4,20	40	0,594	18,02	30,34	900,75	1517,19
4,40	38	0,641	18,49	28,83	924,52	1441,33
4,60	44	0,589	18,45	31,31	922,54	1565,66
4,80	40	0,587	16,71	28,47	835,63	1423,32
5,00	38	0,635	17,17	27,04	858,65	1352,16
5,20	33	0,633	14,87	23,48	743,30	1174,24
5,40	41	0,581	16,95	29,18	847,69	1458,91
5,60	44	0,579	17,08	29,49	853,89	1474,43
5,80	32	0,627	13,45	21,45	672,64	1072,32
6,00	30	0,675	13,58	20,11	679,05	1005,30
6,20	41	0,574	15,76	27,48	788,24	1373,90
6,40	48	0,572	18,40	32,17	920,07	1608,47
6,60	>50					

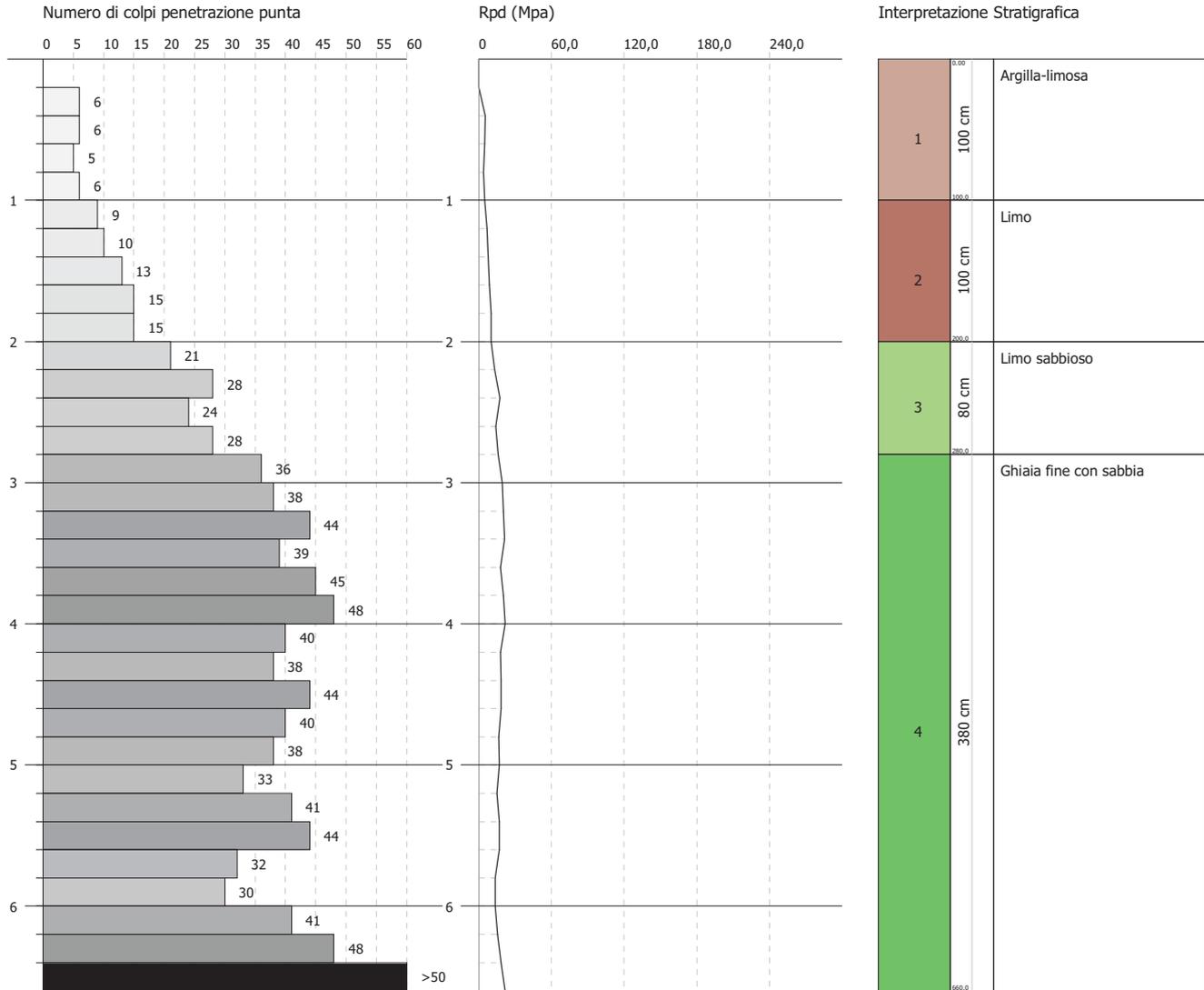
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1	4,6	4,45	Coesivo	1,47	6,77	Argilla-limosa
2	12,4	11,11	Coesivo	1,47	18,25	Limo
2,8	25,25	21,26	Incoerente	1,47	37,17	Limo sabbioso
6,6	41	29,65	Incoerente	1,47	60,35	Ghiaia fine con sabbia

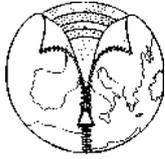
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Archiano Sx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Archiano Sx  
 Località: Arno Casentino

Data: 28/08/2019

Scala 1:50





FARINI LUIGI - GEOLOGO  
Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR  
tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S1 DX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Localita': Torrente Archiano - Destra idrografica  
Lavoro: Passerella su Torrente Archiano  
Data: 30/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5  
H = altezza di caduta (cm): 75  
Profondità della falda = 3,0 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
3,2	98	74	1,23	91
6,2	120	102	1,00	102
9,2	103	98	0,86	84
12,2	120	120	0,77	92

N = numero colpi originale  
N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)  
CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)  
N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologi a	g	ld	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
3,15	GW-GP	21	94	50,0	34,4	-	-	0,475	67,8	59,6	225,5	275	33,51
6,15	GW-GP	21	99	50,4	35,0	-	-	0,481	88,8	69	292,3	323	36,73
9,15	GW-GP	21	90	49,3	36,3	-	-	0,4645	85,8	61,5	299,3	340	31,78
12,15	GW-GP	21	95	49,5	36,2	-	-	0,4675	101,4	68,1	348,2	370	34,04

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

ld = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

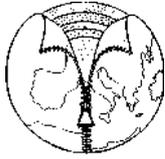
mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate



FARINI LUIGI - GEOLOGO  
Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR  
tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S2 SX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Località: Torrente Archiano - Sinistra idrografica  
Lavoro: Passerella su Torrente Archiano  
Data: 30/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5  
H = altezza di caduta (cm): 75  
Profondità della falda = 3,6 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
4,2	120	90	1,10	99
7,2	95	90	0,92	83
10,0	120	114	0,82	93
13,2	120	120	0,73	88

N = numero colpi originale  
N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)  
CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)  
N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	Id	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
4,15	GW-GP	21	98	50,3	34,6	-	-	0,4795	80,1	65,5	261,5	299	35,79
7,15	GW-GP	21	90	49,3	35,9	-	-	0,4645	80,3	59,5	277,8	323	31,45
9,95	GW-GP	21	95	49,7	36,1	-	-	0,4705	97,3	67,4	330,4	356	34,28
13,15	ML-MH	21	100	49,2	35,1	777,6	22,3	0,463	70,8	57,8	309,3	317	32,79

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

Id = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm<sup>2</sup>) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)

INDAGINI GEOFISICHE:

INDAGINI MASW

POSTAZIONI HVSR



# **PROVINCIA DI AREZZO**

## **“STUDIO TRAMITE MASW E RILIEVO H/V SUL TORRENTE ARCHIANO”**



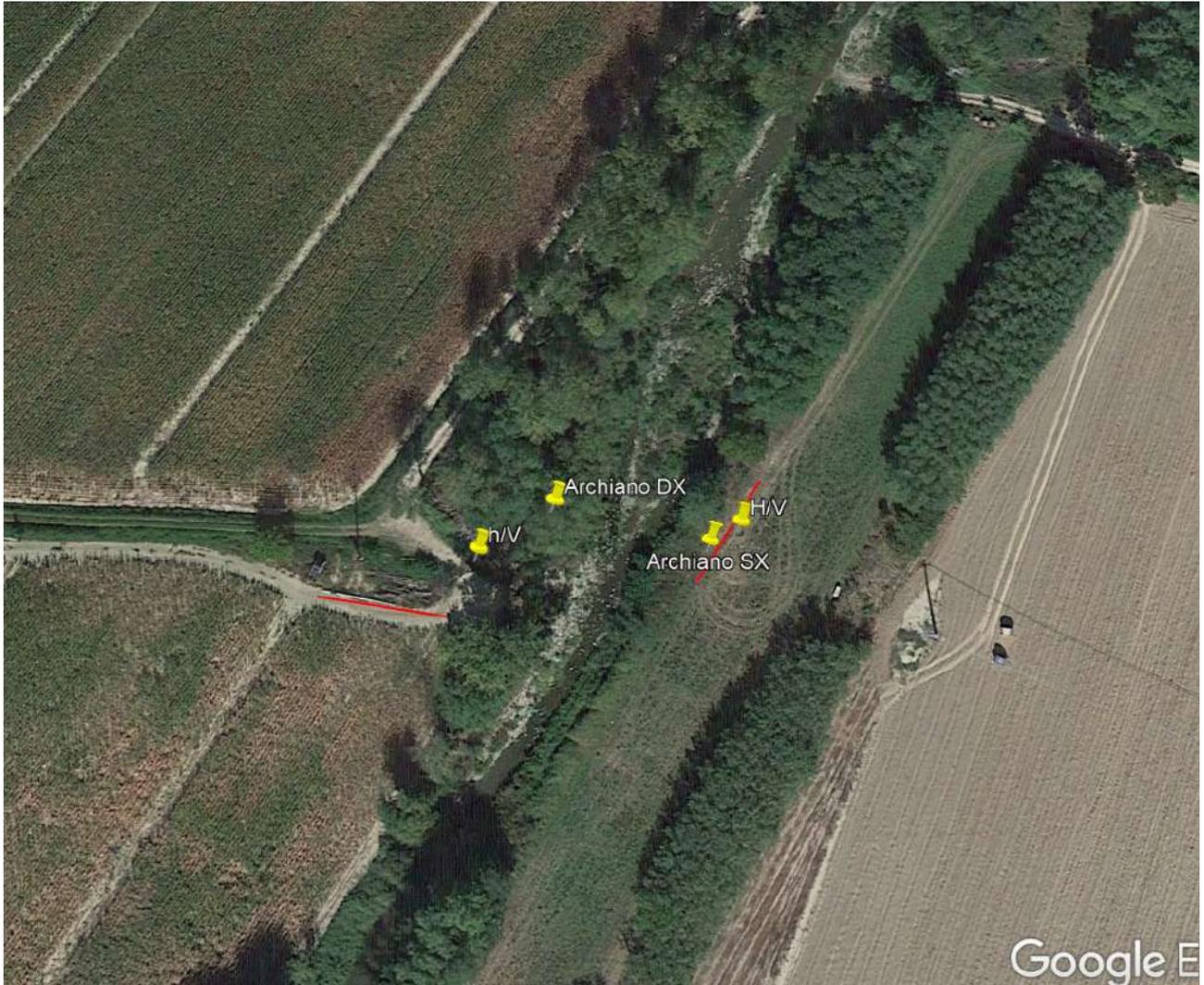
### **RELAZIONE GEOFISICA**

## PREMESSA

Per la caratterizzazione di un sito lungo il torrente Archiano dove si dovrà costruire una passerella, abbiamo eseguito u2 masw ed 2 rilievi tromometrici.

Le indagini si sono eseguite sotto la direzione tecnica del Dott. Geol. Farini Luigi.

Si sono esaminate le due sponde del torrente, una è stata rinominata Dx e l'altra Sx. Su ciascun lato abbiamo eseguito un masw ed un rilievo tromometrico.



## **METODOLOGIA USATA PER L'ANALISI DEI DATI**

Per analizzare la risposta di sito e determinare la pericolosità sismica in base alla normativa vigente si sono utilizzati due distinti metodi geofisici:

**SISMICA A RIFRAZIONE**-Si studia l'andamento del sottosuolo tramite la propagazione dell'onda rifratta.

Si individuano così spessori, velocità e geometrie dei vari sismo strati.

**MASW**-Si ricostruisce la stratigrafia (monodimensionale) attraverso lo studio dell'onda di Rayleigh o di Love.

Ponendo più Masw corti uno accanto all'altro si ricostruisce un profilo in VS.

**H/V**-Si ricava lo spettro di risposta di sito.

Se la sismica a rifrazione o il Masw riesce ad individuare il bedrock sismico, i dati dell'H/V (che rispetto alla sismica a rifrazione è una metodologia meno precisa) serviranno per confermare i dati acquisiti e per aggiungere alcune interessanti informazioni (spettro di risposta di sito).

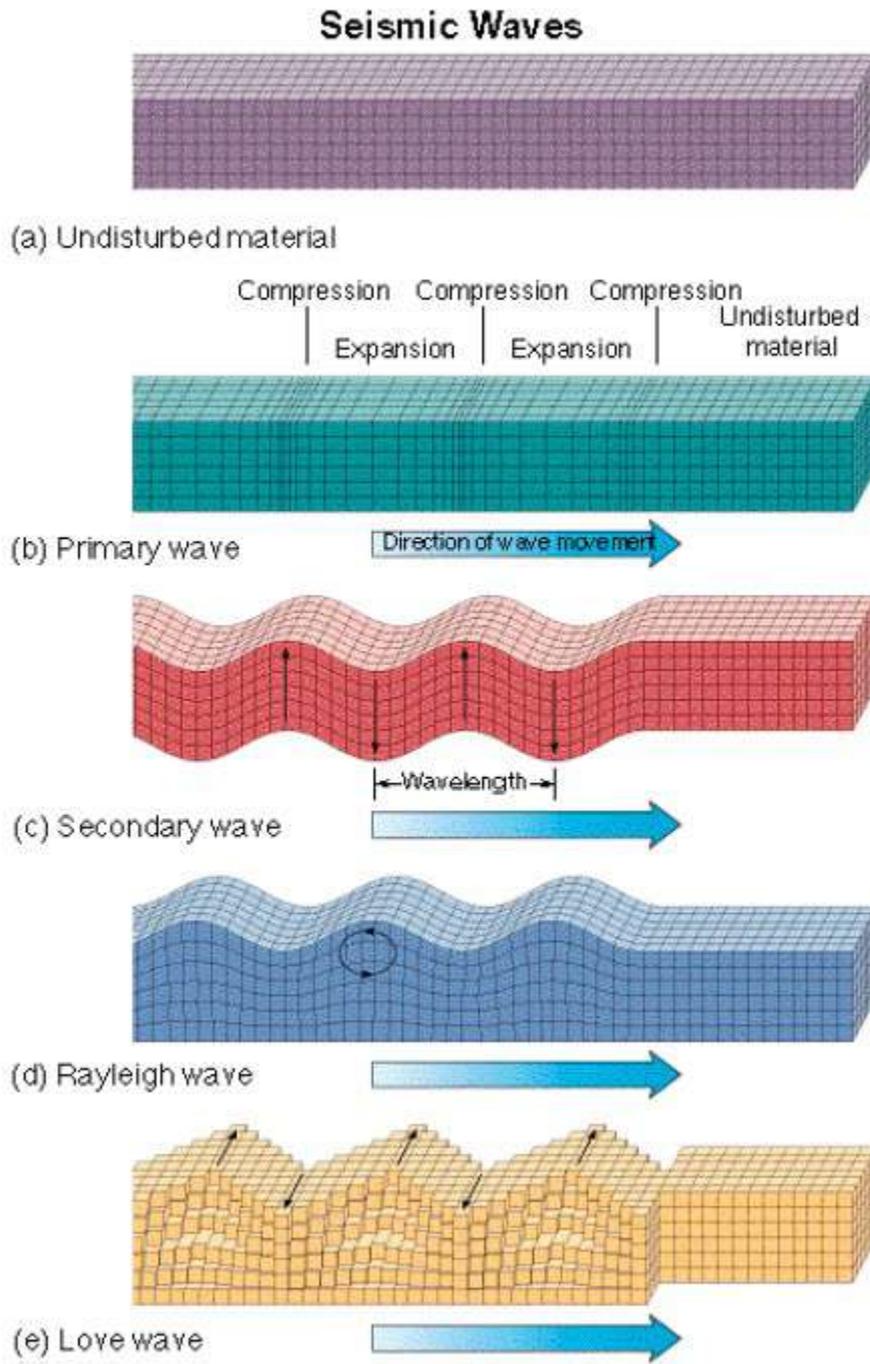
In questo caso, con la rifrazione in p, la velocità dei primi livelli è indicata dal MASW e le geometrie (è gli spessori) dalla rifrazione

Nei casi in cui la rifrazione o il Masw non arrivi ad intercettare il bedrock per i motivi più disparati ( stese corte o inversioni o terreni molto allentati) potremo chiudere l'indagine usando i dati provenienti dall' H/V.

In pratica, vincolando il modello 1D generante lo spettro di risposta ai dati in nostro possesso e provenienti dalla sismica e dal MASW, possiamo arrivare a fare delle presupposizioni abbastanza veritiere su quelli che sono gli orizzonti sismo stratigrafici più profondi.

L'H/V viene quindi usato per rifinire e completare le informazioni provenienti dalle altre indagini (dirette o indirette) eseguite.

**Vari tipologie di onde sismiche**



## STRUMENTAZIONE USATA PERI I RILIEVI

### MASW

Sismografo AMBROGEO ECHO24-2010

Geofoni verticali da 4,5 hz

Massa battente (mazza)



Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

## **SOFTWARE USATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DEI DATI**

### **Acquisizione dei dati**

*SISMOPC 1.0-PASI  
AMROGEO*

### **Elaborazione e filtraggio**

<i>Visual Sunt 20</i>	<i>Wgeosoft -filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>Seismic Unix</i>	<i>Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>WinMasw Pro</i>	<i>Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione</i>
<i>Grilla</i>	<i>Tromino-H/V</i>
<i>Geopsy</i>	<i>Software Libero-H/V</i>
<i>Winsism 11.2</i>	<i>Wgeosoft-sismica a rifrazione</i>
<i>Rayfract</i>	<i>Intelligent re source-sismica a rifrazione</i>

### **Modelli 1 D e rischio sismimico**

<i>Deep Soil</i>	<i>software libero-Risposta di sito modellazione 1D</i>
<i>Rexel</i>	<i>software libero-risposta di sito-terremoto di progetto</i>
<i>Shake 2000</i>	<i>Geo Motions-risposta di sito -modellazione 1D -liquefazione ecc.</i>
<i>Ciclic 1D</i>	<i>software libero-liquefazione</i>

**TUTTI I SOFTWARE COMMERCIALI IN NOSTRO POSSESSO SONO ORIGINALI E DOTATI DI ORIGINALE LICENZA**

## RILIEVI TROMOMETRICI

### Tromino Micromed



<b>Number of channels</b>	3+1 analog
<b>Amplifiers</b>	all channels with differential inputs
<b>Noise</b>	< 0.5 $\mu\text{V}$ r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Input impedance</b>	$10^6$ Ohm
<b>Frequency range</b>	DC - 360 Hz
<b>Sampling frequency</b>	16384 Hz per channel
<b>Oversampling frequency</b>	32x, 64x, 128x
<b>A/D conversion</b>	$\geq 24$ bit equivalent
<b>Max analog input</b>	51.2 mV (781 nV/digit)

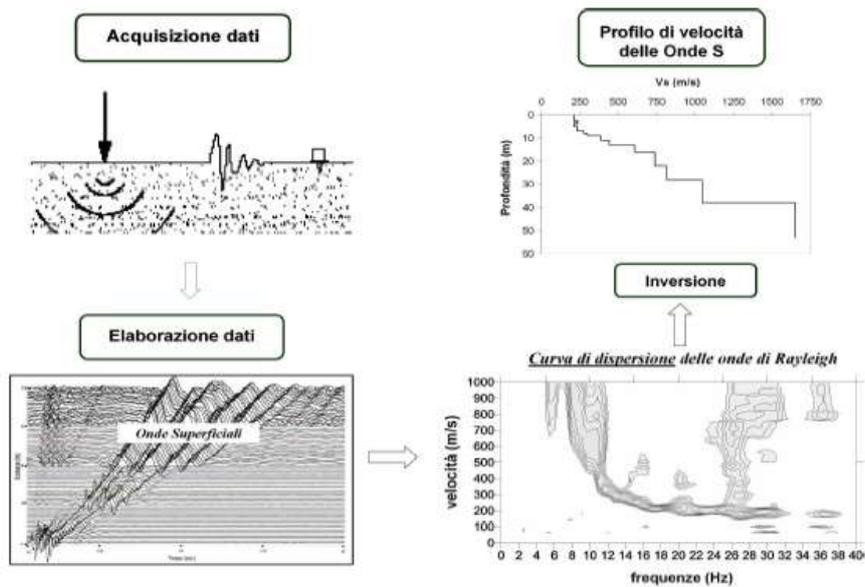
## CENNI TEORICI MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Nel metodo di indagine passivo si registra il rumore di fondo.



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di

sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

### **STRUMENTAZIONE USATA**

Ambrogeo2010SU

Numero dei canali 12

A/D conversione 24 bit

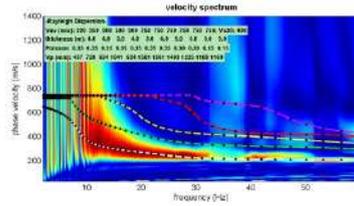
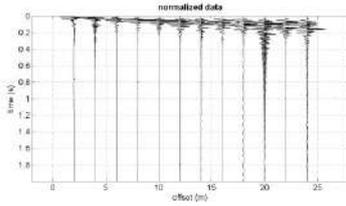
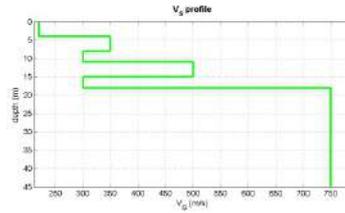
Geofoni da 4.5 hz verticali

### **SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE**

Generazione di onde P:

massa battente (mazza da 8 kg)

# Archiano dx



## Mean model

$V_s$  (m/s): 220, 350, 300, 500, 300, 750, 750, 750, 750, 750, 750

Thickness (m): 4.0, 4.0, 3.0, 4.0, 3.0, 4.0, 5.0, 5.0, 5.0, 5.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.85 1.98 1.94 2.06 1.94 2.16 2.16 2.14 2.10 2.09 2.09

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 90 242 175 516 175 1216 1216 1202 1183 1177 1177

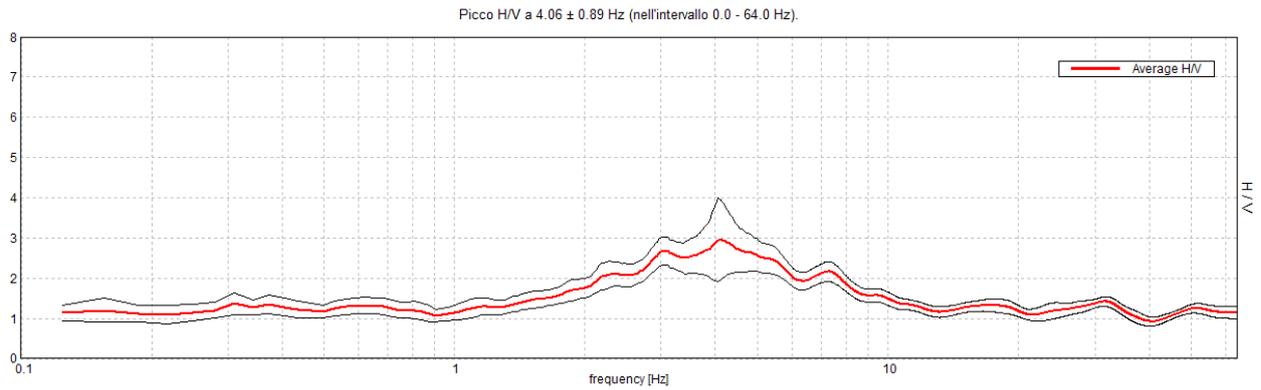
$V_{s30}$  (m/s): 408

Strumento: TRZ-0135/01-11

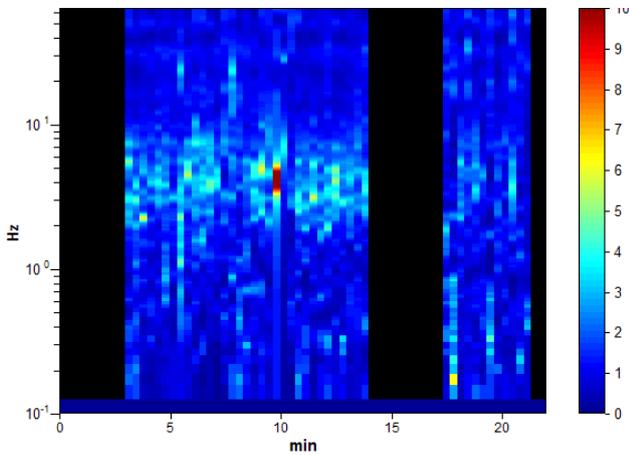
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 09:28:34 Fine registrazione: 01/08/19 09:50:34  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 70% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

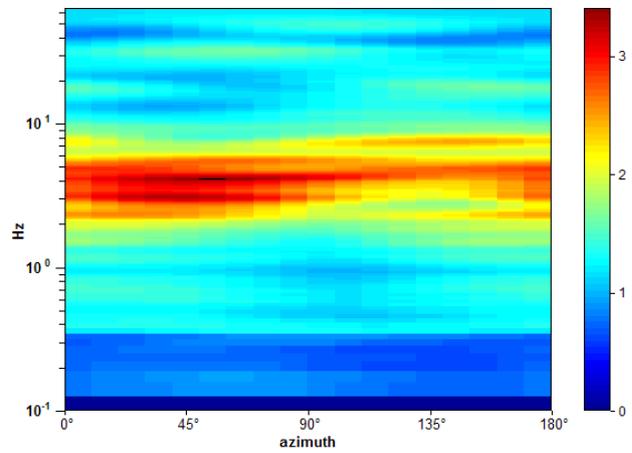
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



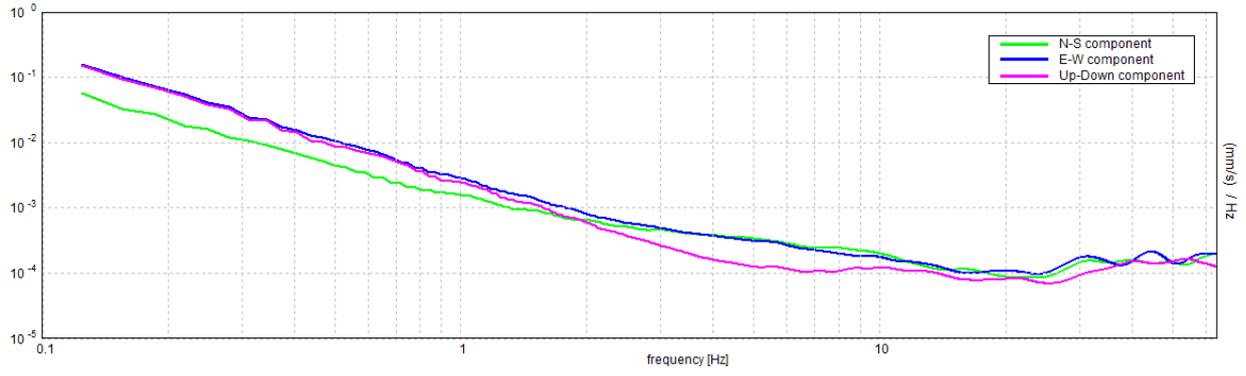
### SERIE TEMPORALE H/V



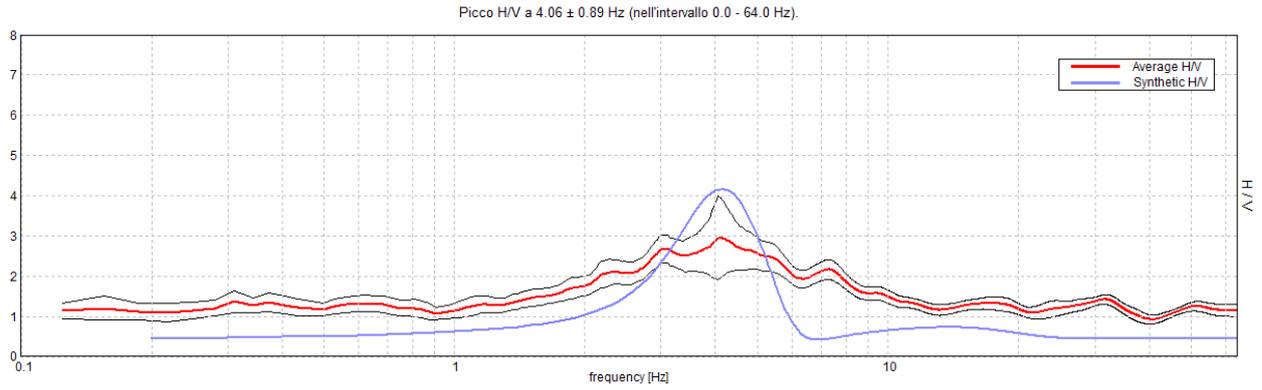
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

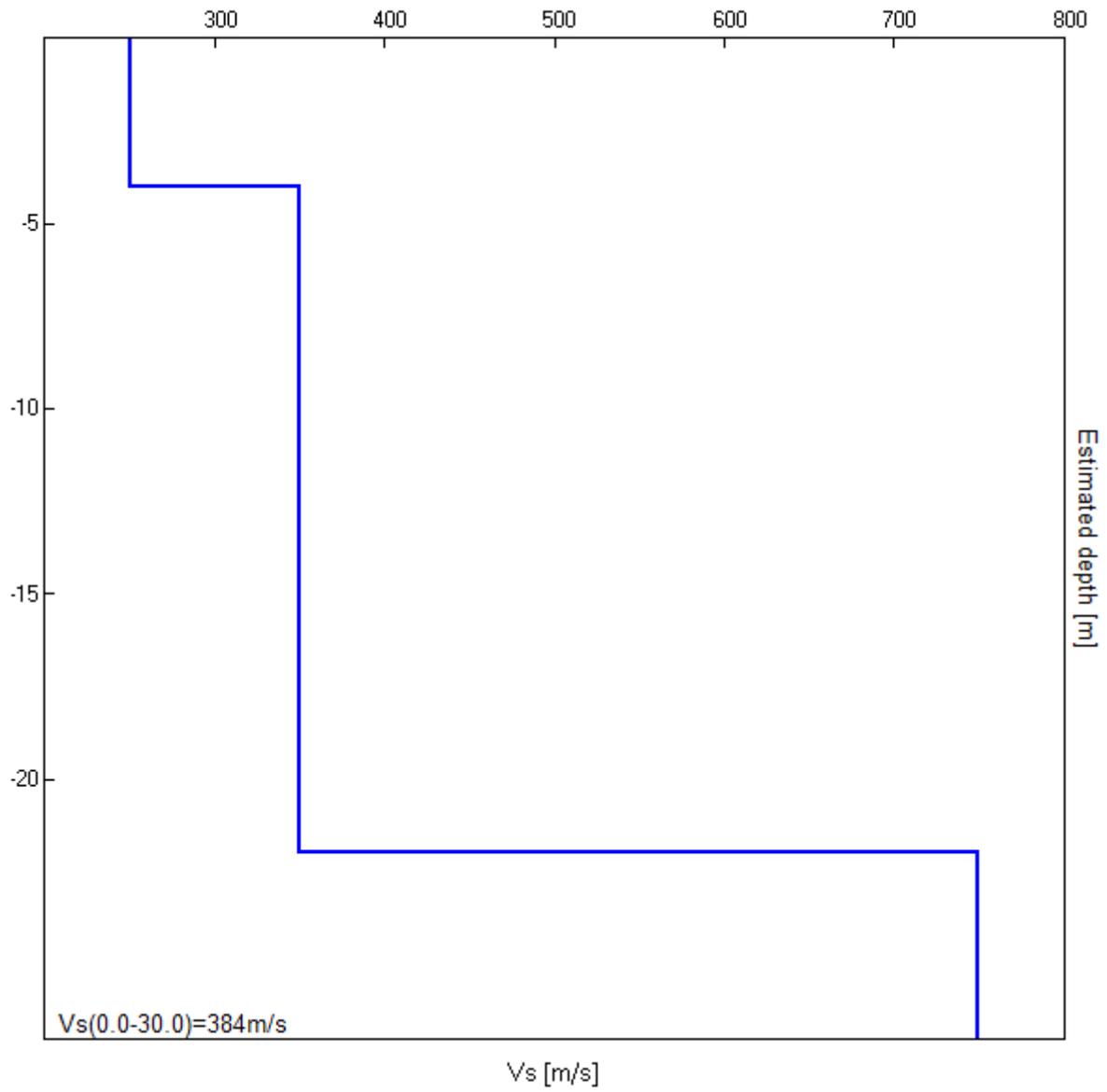


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.00	4.00	250	0.40
22.00	18.00	350	0.40
inf.	inf.	750	0.40

Vs(0.0-30.0)=384m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $4.06 \pm 0.89$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.06 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$3656.3 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 196	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

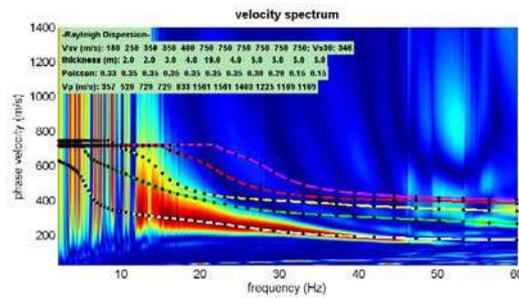
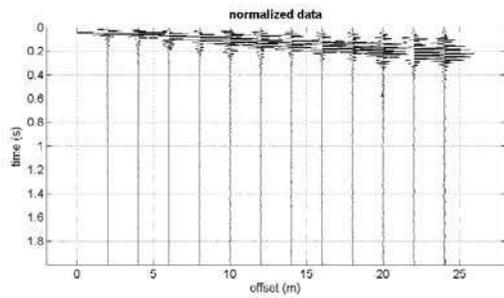
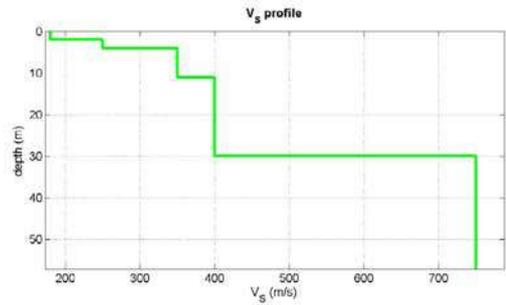
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.531 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.063 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.95 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.21819  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.88638 < 0.20313$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.0404 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**Archiano sx**



**Mean model**

Vs (m/s): 180, 250, 350, 350, 400, 750, 750, 750, 750, 750, 750

Thickness (m): 2.0, 2.0, 3.0, 4.0, 19.0, 4.0, 5.0, 5.0, 5.0, 5.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.81 1.90 1.98 1.98 2.01 2.16 2.16 2.14 2.10 2.09 2.09

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 58 118 242 242 322 1216 1216 1202 1183 1177 1177

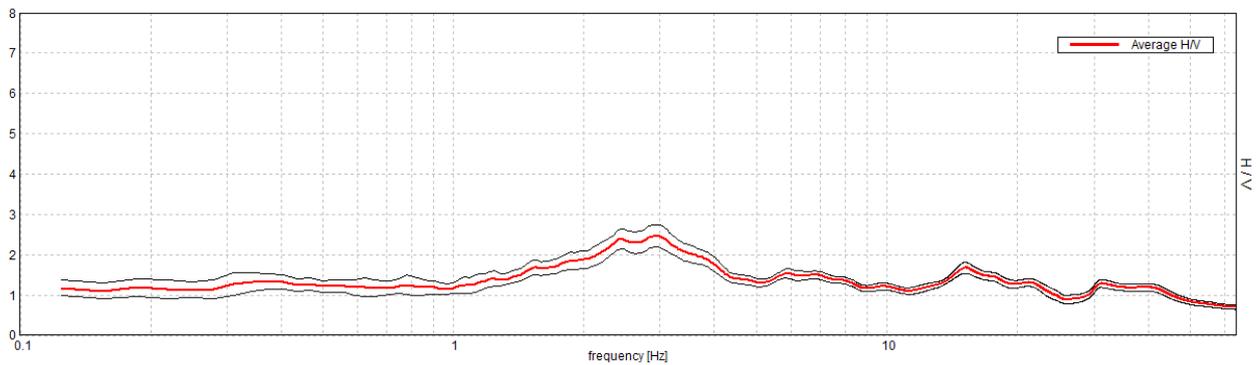
Vs30 (m/s): 346

Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 09:58:25 Fine registrazione: 01/08/19 10:20:25  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

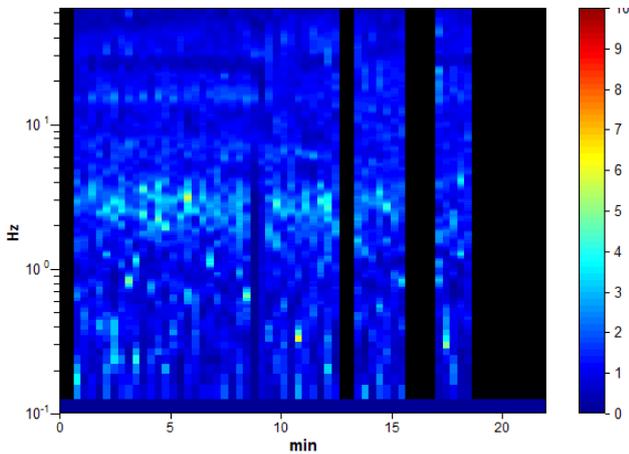
Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

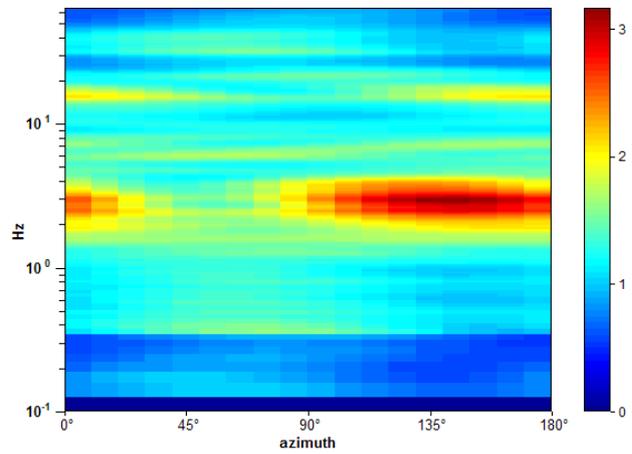
Picco H/V a  $2.94 \pm 0.44$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



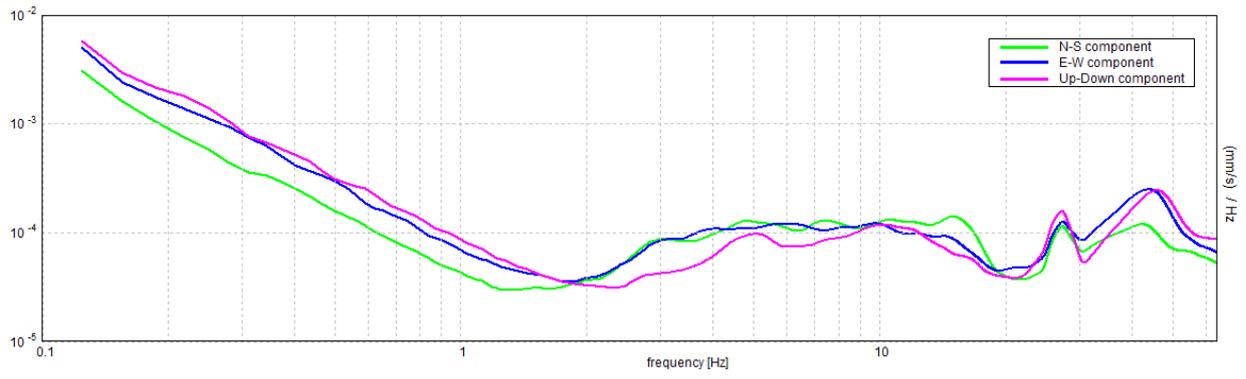
### SERIE TEMPORALE H/V



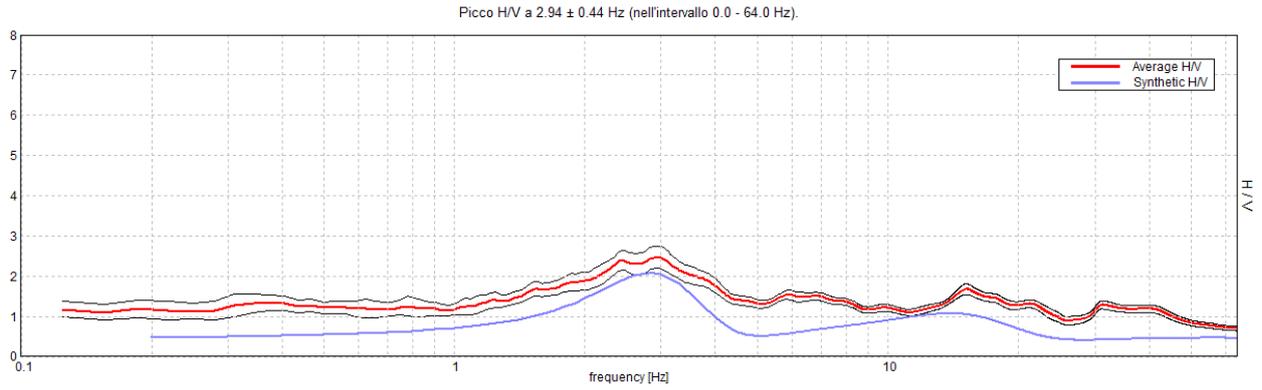
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

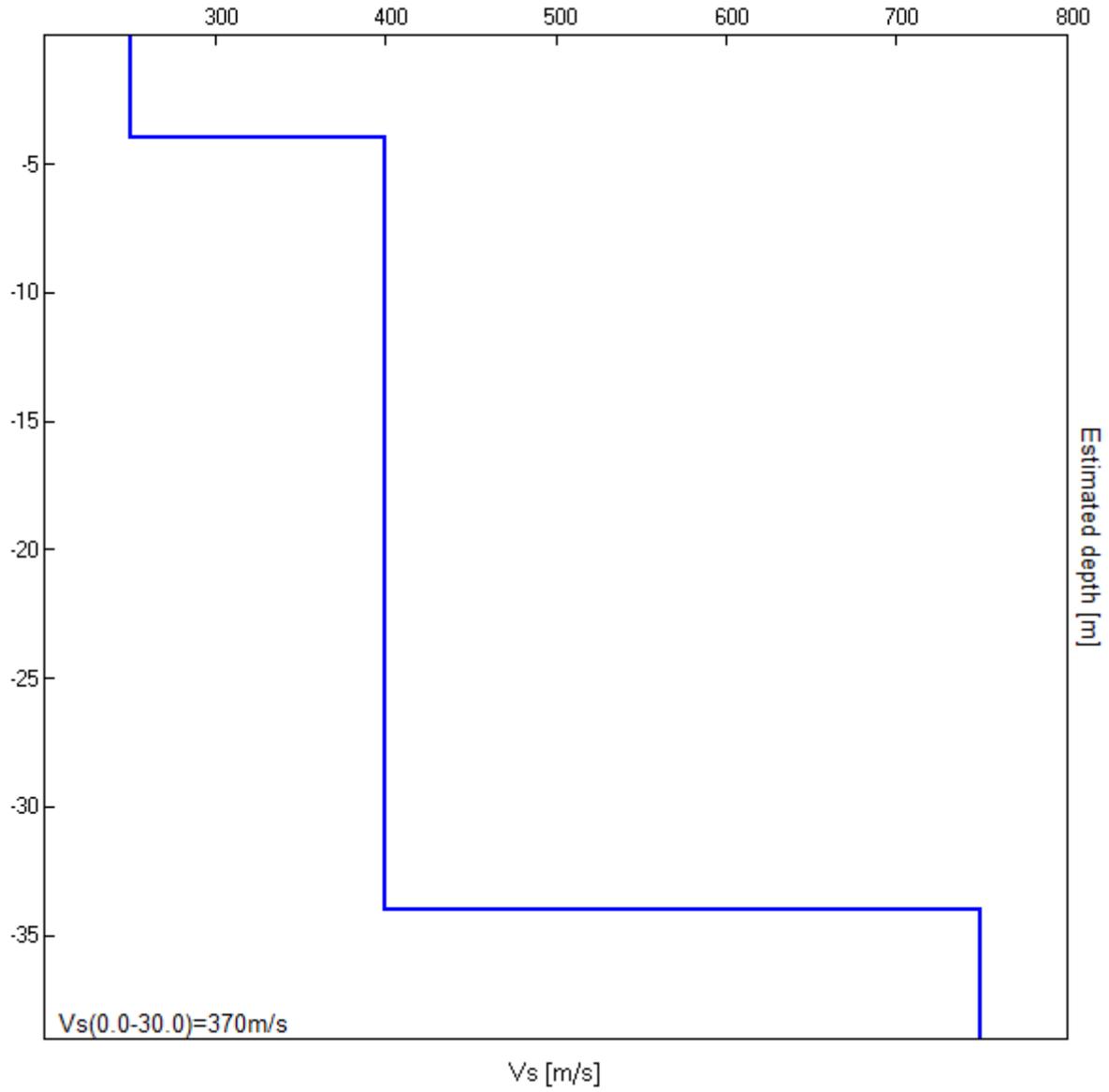


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.00	4.00	250	0.40
34.00	30.00	400	0.40
inf.	inf.	750	0.40

Vs(0.0-30.0)=370m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $2.94 \pm 0.44$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.94 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2820.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 142	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.031 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.531 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.47 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15057  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.44231 < 0.14688$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2773 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**AREZZO 29-07-2019**

**GALILEO GEOFISICA**



ANALISI LABORATORIO GEOTECNICO





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 419/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 149/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Archiano

**CAMPIONI:** n. 1 spezzone di roccia

S2CR1 Profondità 16.5 - 17.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



Rapporto di prova n. 419/2019

Campione S2CR1 Profondità 16.5 - 17.0 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95

Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna argillosa, colore grigio - grigio verdastro



**provino A**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.46	6.96	54.88	342.37	8.25

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.70	1.04	1.78	23.8	25.5	42.3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 419/2019

Campione S2CR1 Profondità 16.5 - 17.0 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

**provino B**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura		
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)		
2.60	70.73	47.45	260.16	10.00		
Is	F	Is(50)	C		$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)			(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
2.00	0.98	1.95	22.4		25.0	43.8

**provino C**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura		
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)		
3.21	70.15	53.46	321.07	9.50		
Is	F	Is(50)	C		$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)			(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.93	1.03	1.99	23.6		25.3	46.9

**provino D**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura		
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)		
2.91	70.42	50.11	290.44	9.25		
Is	F	Is(50)	C		$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)			(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.87	1.00	1.87	22.9		25.1	42.8

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 419/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Archiano

Campione	S2Cr1	S2Cr1	S2Cr1	S2Cr1
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	42.3	43.8	46.9	42.8
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	25.5	25.0	25.3	25.1

*Michele Caloni*





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

## Certificati di Prova n. 1621-1625/2019

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Archiano

DATA ESECUZIONE PROVE: 16/09/19 - 21/10/19

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

CAMPIONI:

S1Cr2 profondità 19.0 - 19.5 m

### Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 6 - Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)
- 7 - Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)
- 8 - Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1621/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr2</b> profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data apertura campione: 16/09/19

**Descrizione del campione**

Campione semidisturbato prelevato da cassetta da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 50 cm: argillite in parte alterata a limo argilloso colore grigio

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, granulometria, E.L.L., edometria e taglie



Classe e grado di qualità (sec. A.G.I.)

Campione a disturbo limitato Q-4

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



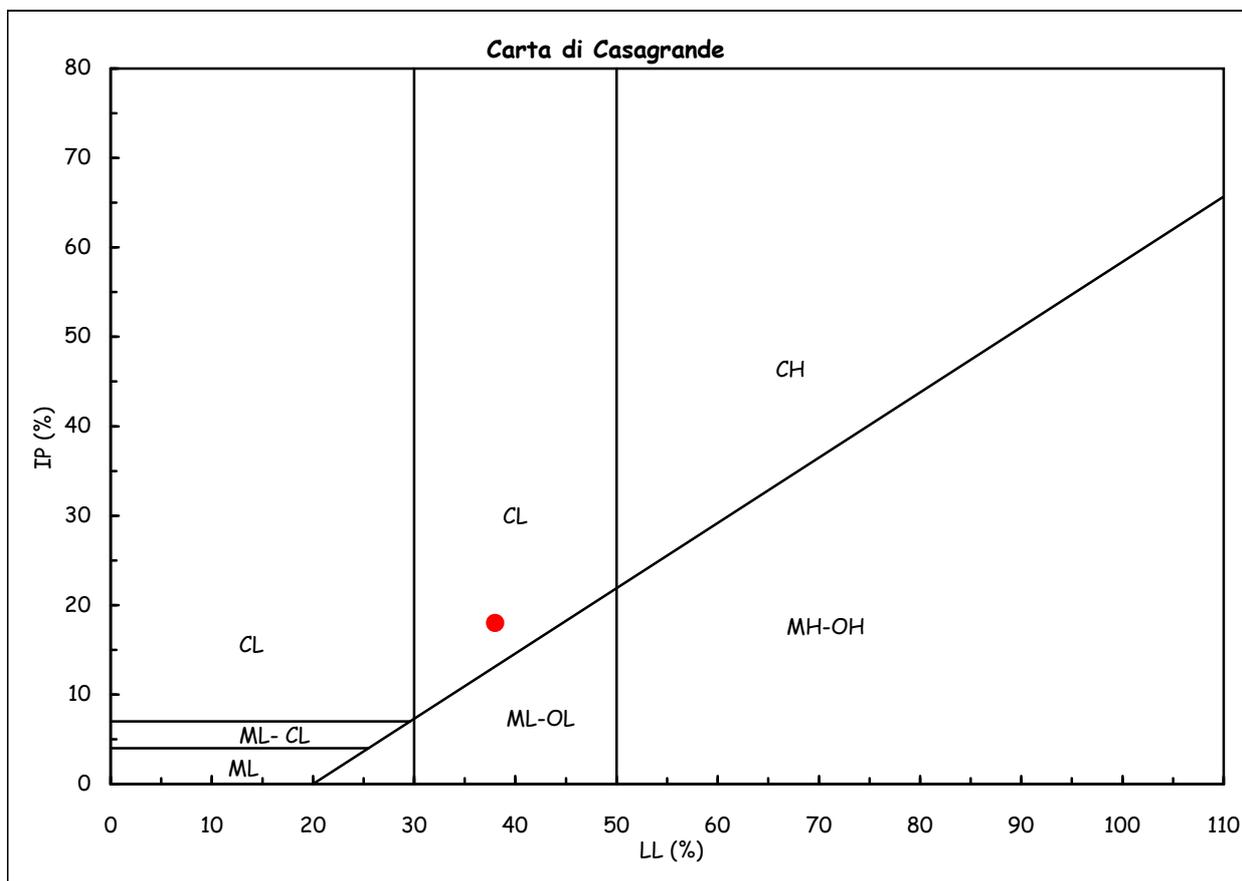
**CERTIFICATO DI PROVA N.1621/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr2</b> profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 17/09/19 - 25/09/19

**Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)**  
**Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)**

Contenuto d'acqua (W <sub>n</sub> ) =	16.12%	Limite di liquidità (LL) =	38%
Limite di plasticità (LP) =	20%	Indice di plasticità (IP) =	18%
Indice di consistenza (I <sub>c</sub> ) =	1.22	Indice di attività (I <sub>at</sub> ) =	1.20

CL = argille inorganiche di  
media plasticità



**Classificazione UNI 10006**

Gruppo: A2-6

Indice di gruppo: 1

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1622/2019**

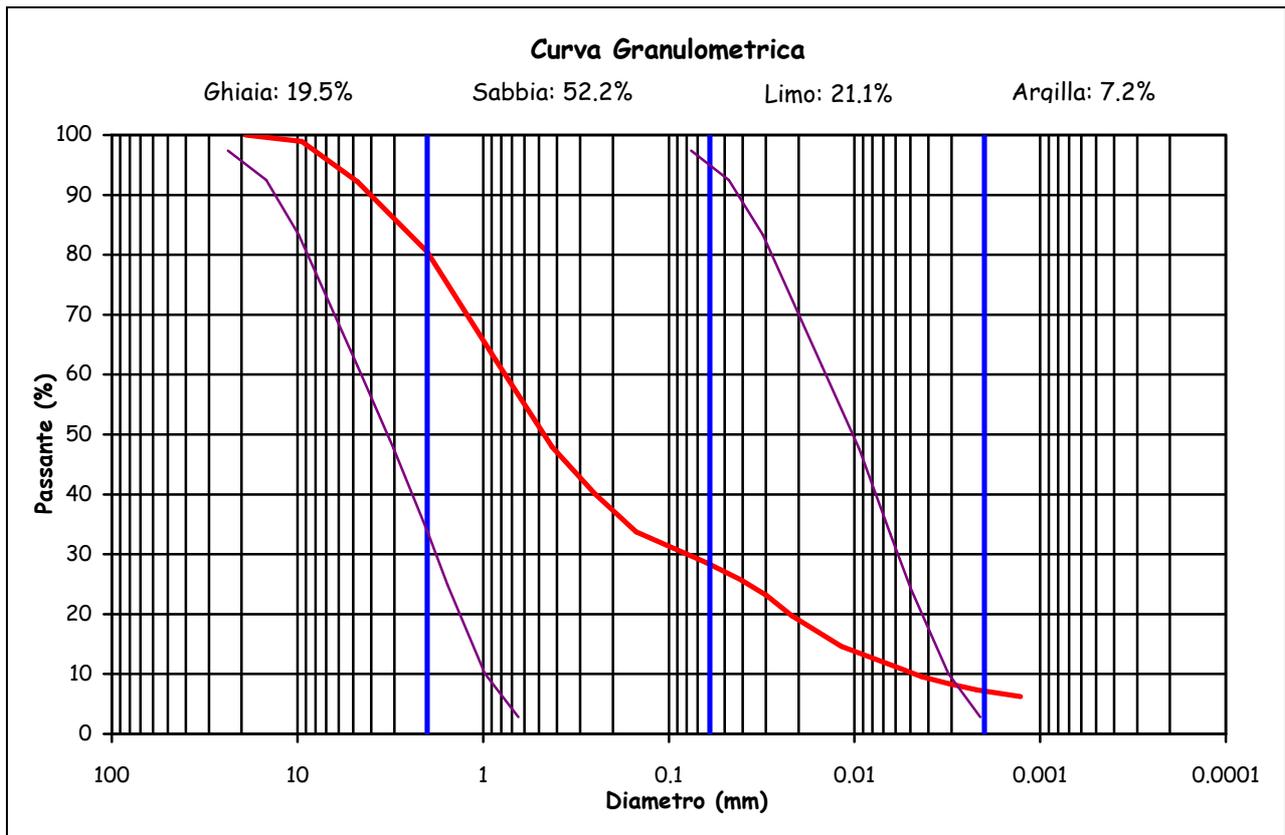
<b>CAMPIONE S1Cr2</b> profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 17/09/19 - 25/09/19

**Analisi granulometrica**

Setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
19	100	0.0411	25.7
9.5	98.9	0.0298	23.1
4.75	92.2	0.0218	19.7
2	80.5	0.0117	14.6
0.850	62.3	0.0060	11.2
0.425	47.9	0.0043	9.5
0.250	40.1	0.0031	8.4
0.150	33.8	0.0022	7.4
0.063	28.6	0.0013	6.2



Definizione secondo A.G.I.:

Sabbia limosa ghiaiosa debolmente argillosa

Fusi granulometrici critici nei confronti della liquefazione (Tsuchida, 1970)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*



**CERTIFICATO DI PROVA N.1622/2019**

CAMPIONE S1Cr2 profondità 19.0 - 19.5 m

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

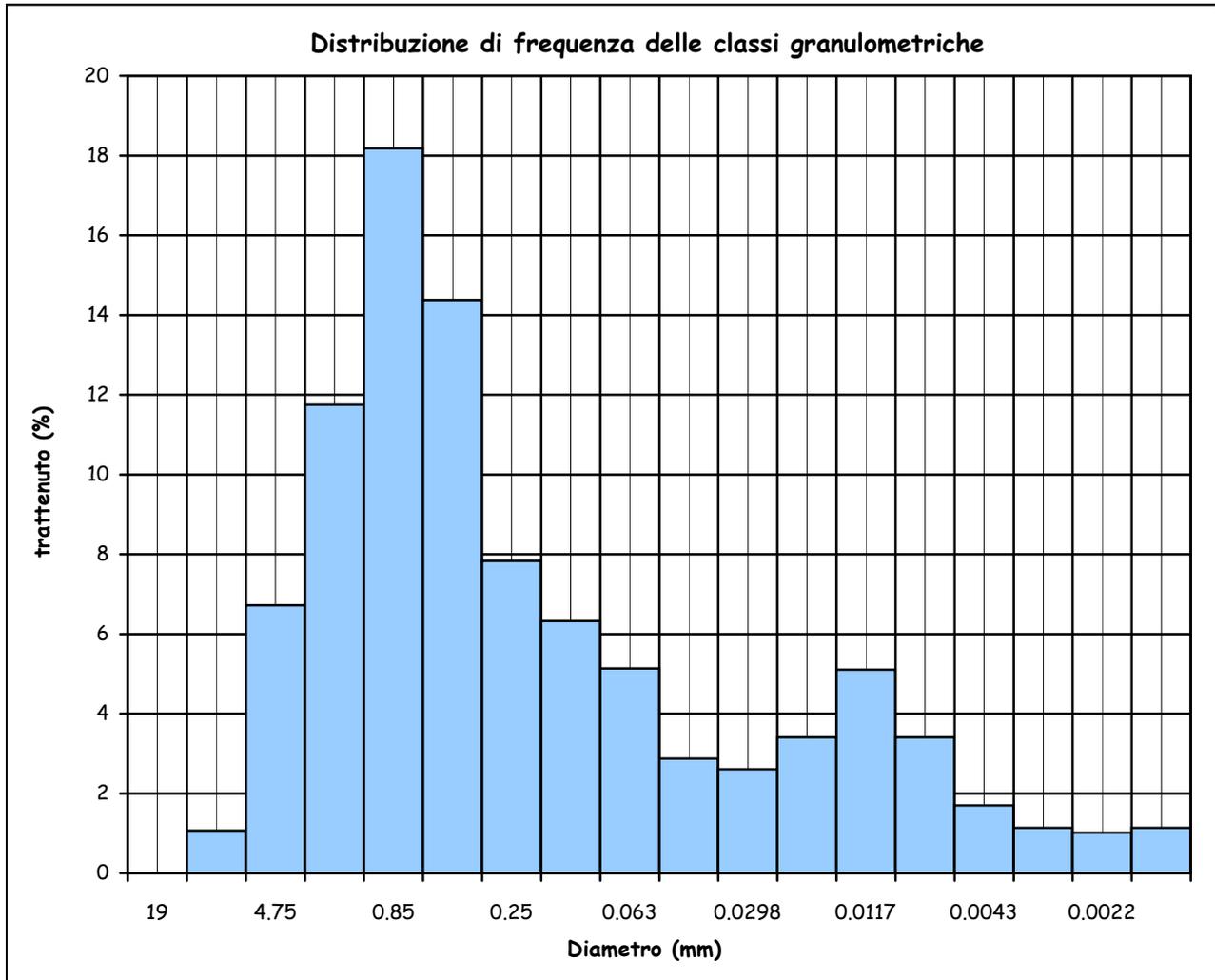
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

Data prova: 17/09/19 - 25/09/19

**Analisi granulometrica**



Coefficiente di uniformità (Cu) = 162.8

Coefficiente di curvatura (Cc) = 2.0

Mediana 0.4867

Moda 0.8500

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1623/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr2</b> profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 18/10/19 - 21/10/19

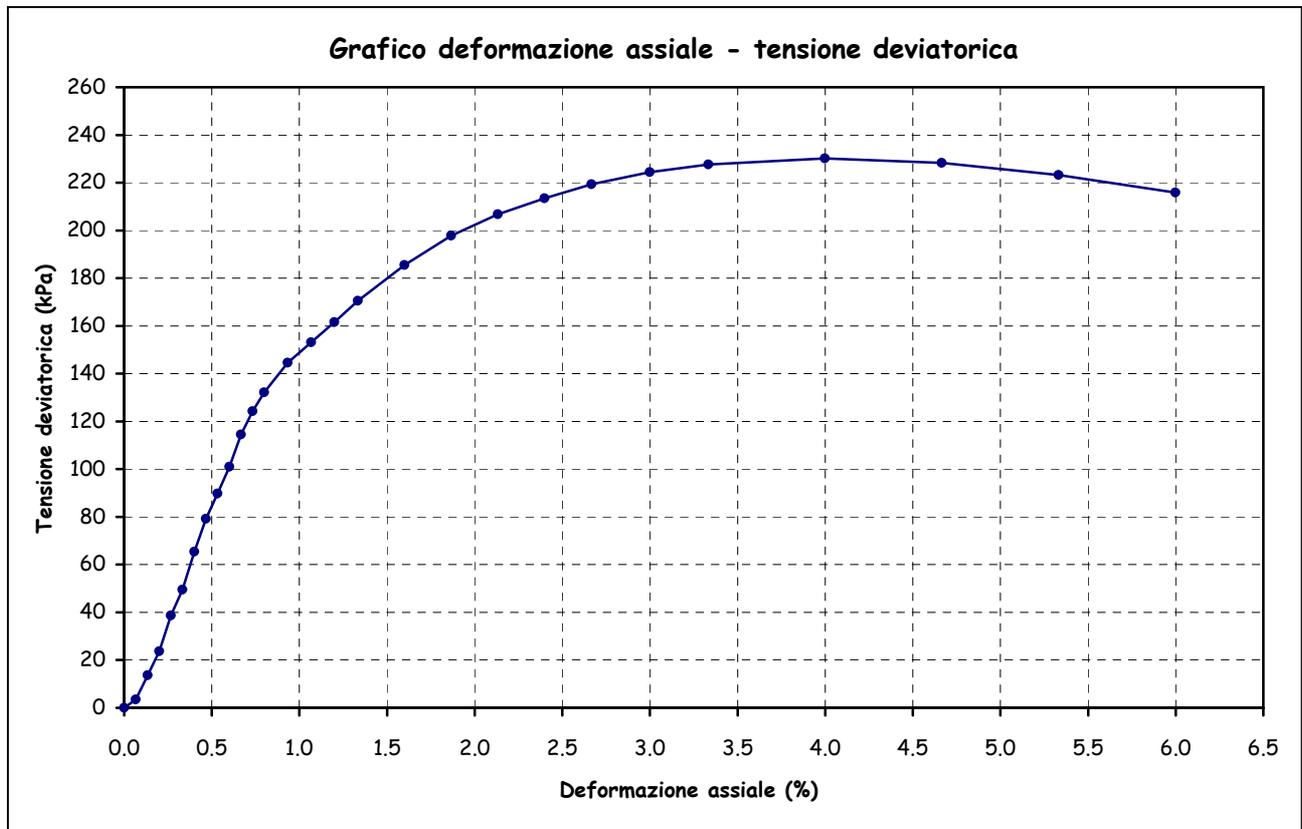
Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)

Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	20.5	Sigma a rottura (kPa)	230.1
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	17.7	Coesione non drenata (kPa)	115.1
Contenuto d'acqua (%)	16.14	Modulo elastico	18907
Vel. def. (mm/min)	1.27	tangente iniziale (kPa)	

ε (%)	σ (kPa)	ε (%)	σ (kPa)	ε (%)	σ (kPa)
0.07	3.4	0.67	114.5	2.13	206.8
0.13	13.6	0.73	124.2	2.40	213.5
0.20	23.7	0.80	132.2	2.67	219.3
0.27	38.7	0.93	144.5	3.00	224.5
0.33	49.5	1.07	153.1	3.33	227.6
0.40	65.4	1.20	161.6	4.00	230.1
0.47	79.2	1.33	170.5	4.67	228.4
0.53	89.8	1.60	185.5	5.33	223.3
0.60	101.0	1.87	197.8	6.00	215.8



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*



**CERTIFICATO DI PROVA N.1624/2019**

CAMPIONE S1Cr2 profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)

	Iniziale	Finale
Altezza (mm)	20.004	18.995
Volume (cmc)	39.996	37.979
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	21.3	22.3
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	18.6	19.6
Contenuto d'acqua (%)	14.62	14.20

Pressione (kPa)	Cedimento (%)	Mv (m <sup>2</sup> /kN)
6.1	0.000	--
12.3	0.374	0.0006107
24.5	0.393	0.0000153
49.0	1.317	0.0003769
98.1	1.640	0.0000658
196.2	2.903	0.0001287
392.4	4.973	0.0001055
784.8	7.287	0.0000590
1569.6	10.034	0.0000350
392.4	8.479	0.0000132
98.1	6.548	0.0000656
24.5	5.043	0.0002044

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1624/2019**

CAMPIONE S1Cr2 profondità 19.0 - 19.5 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

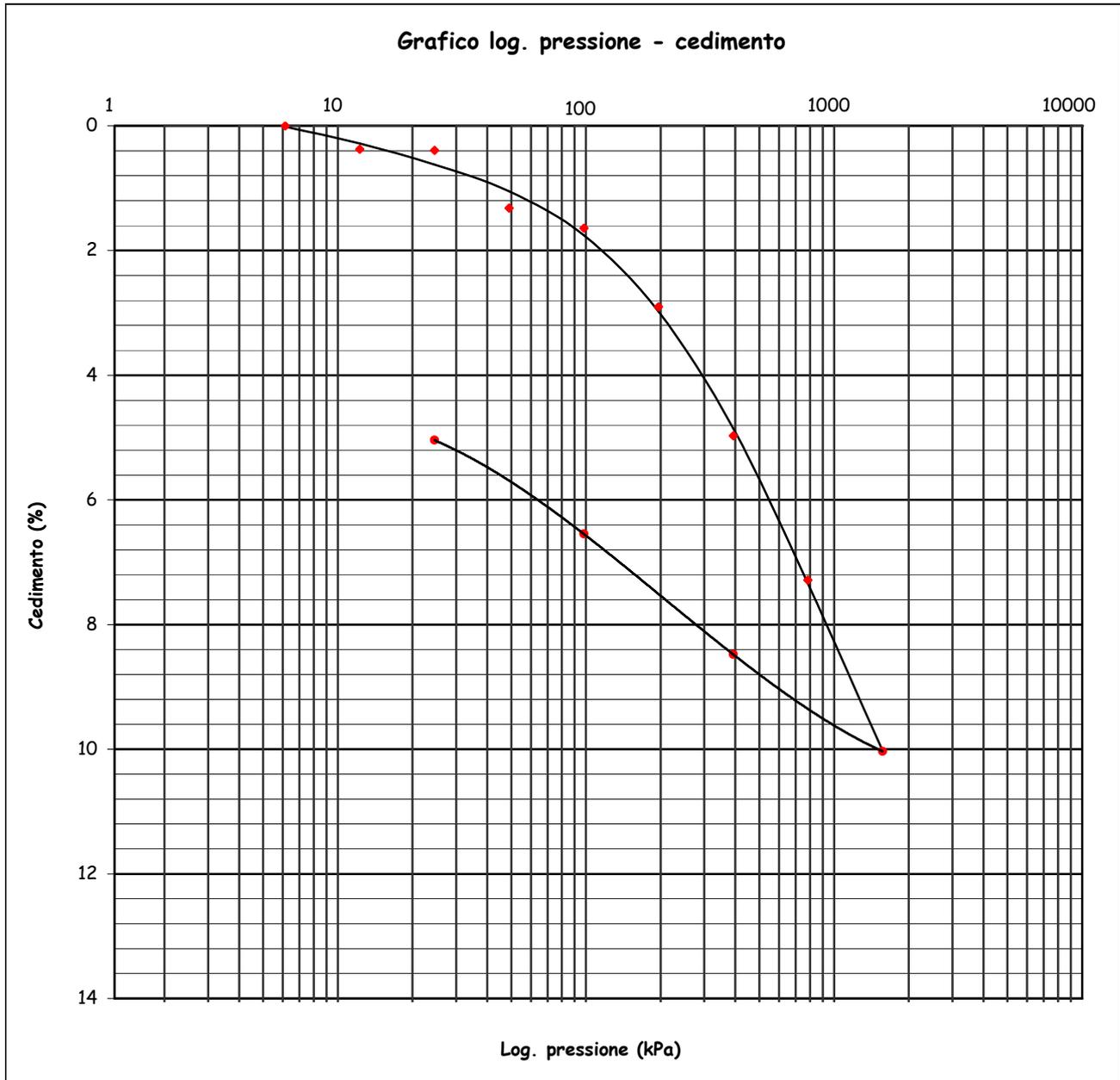
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

LOCALITA': Archiano

Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)**



Lo sperimentatore  
 Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
 Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*

**CERTIFICATO DI PROVA N.1624/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr2</b> profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

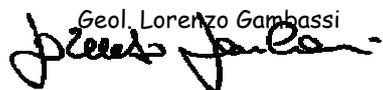
**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)****Cedimento in funzione del tempo**

carico da 98.1 a 196.2 kPa

tempo (minuti)	Cedimento (10 <sup>-3</sup> mm)
0.10	577.00
0.17	589.50
0.25	600.00
0.50	618.50
1.00	638.30
2.00	656.90
4.00	672.75
8.00	684.80
15.00	693.25
30.00	701.25
60.00	708.25
120.00	715.00
298.00	724.25
509.00	731.75
1430.00	738.15

carico da 196.2 a 392.4 kPa

tempo (minuti)	Cedimento (10 <sup>-3</sup> mm)
0.10	900.00
0.17	930.00
0.25	955.00
0.50	1000.00
1.00	1040.00
2.00	1071.50
4.00	1098.10
8.00	1118.75
26.00	1142.00
40.00	1147.00
63.00	1155.20
132.00	1167.00
245.00	1176.00
561.00	1187.00
1444.00	1194.90

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  




Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  




**CERTIFICATO DI PROVA N.1624/2019**

**CAMPIONE S1Cr2** profondità 19.0 - 19.5 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

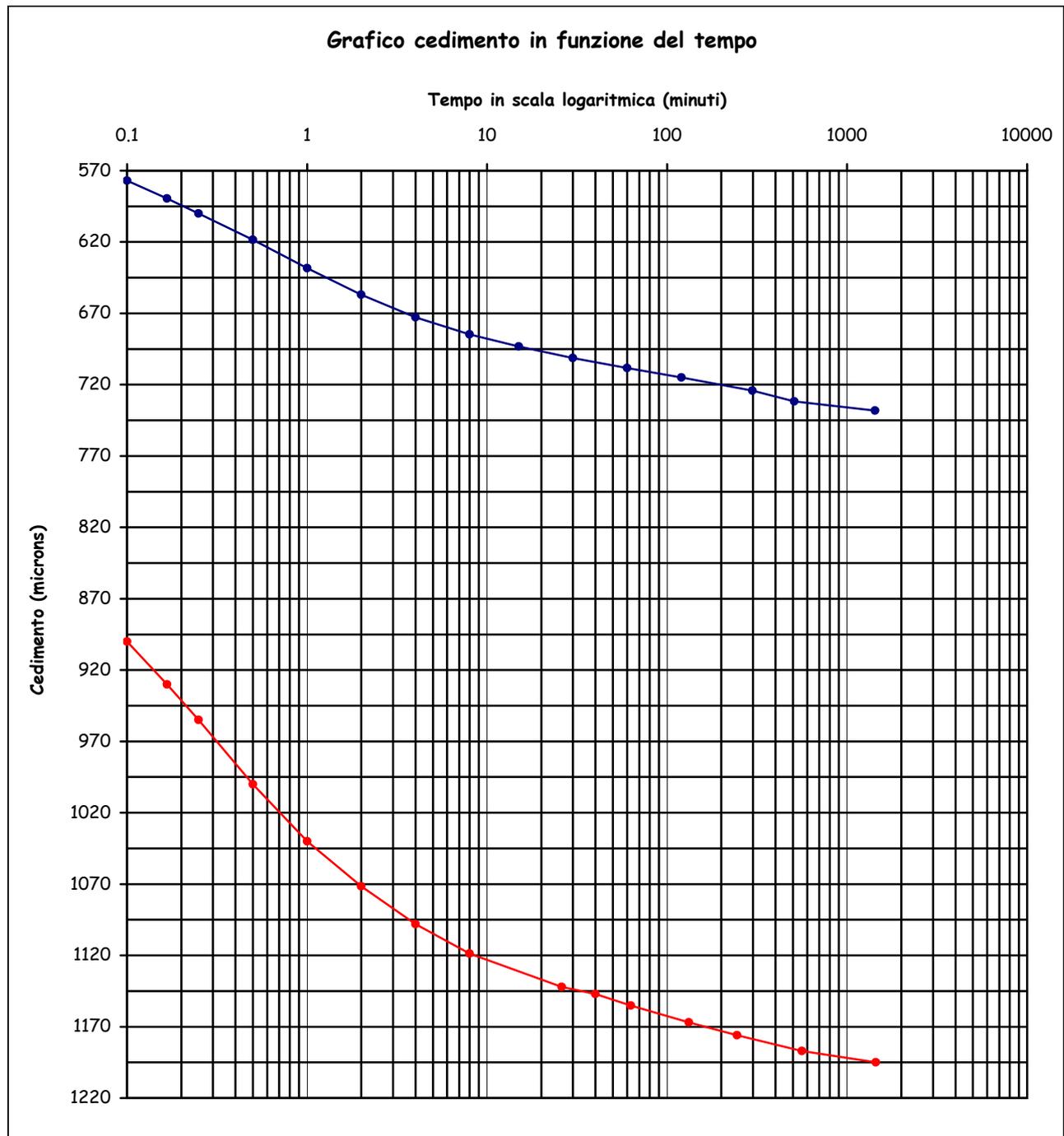
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

LOCALITA': Archiano

Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)**



Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1625/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr2</b> profondità 19.0 - 19.5 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 25/09/19 - 07/10/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Peso di volume naturale iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	19.7	19.7	19.8
Peso di volume umido finale (kN/m <sup>3</sup> )	21.2	21.7	22.1
Peso di volume secco iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	16.9	16.9	16.8
Peso di volume secco finale (kN/m <sup>3</sup> )	17.9	18.3	18.6
Contenuto d'acqua iniziale (%)	16.54	16.84	17.54
Contenuto d'acqua finale (%)	18.64	18.71	18.77
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.0030	0.0030	0.0030
Sigma (kPa)	98.1	171.6	245.2
Tau a rottura (kPa)	61.3	97.5	132.7

Provino 1		Provino 2		Provino 3	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
0.07	8.2	0.07	14.6	0.07	20.3
0.22	20.1	0.16	26.6	0.15	36.5
0.37	27.5	0.27	37.4	0.26	51.1
0.53	33.2	0.37	45.3	0.36	62.1
0.71	38.5	0.53	54.7	0.53	75.0
0.96	43.4	0.71	59.1	0.64	81.6
1.21	47.5	0.89	66.8	0.87	90.1
1.45	49.5	1.07	72.3	1.05	97.3
1.77	52.2	1.32	77.2	1.23	103.6
2.09	54.7	1.56	82.2	1.49	110.7
2.46	56.3	1.81	86.0	1.72	116.2
2.84	57.7	2.06	89.8	1.96	120.9
3.23	58.5	2.38	92.9	2.29	127.5
3.65	59.3	2.69	94.0	2.54	128.9
4.11	59.9	3.00	95.3	2.90	130.5
4.60	60.2	3.38	96.2	3.21	131.6
5.11	60.7	3.75	96.4	3.60	131.4
5.66	61.3	4.13	97.5	3.95	132.7
6.22	61.3	4.51	97.5	4.35	132.5
6.71	60.7	4.94	97.3	4.72	132.7
7.24	60.2	5.32	96.4	5.09	131.4

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



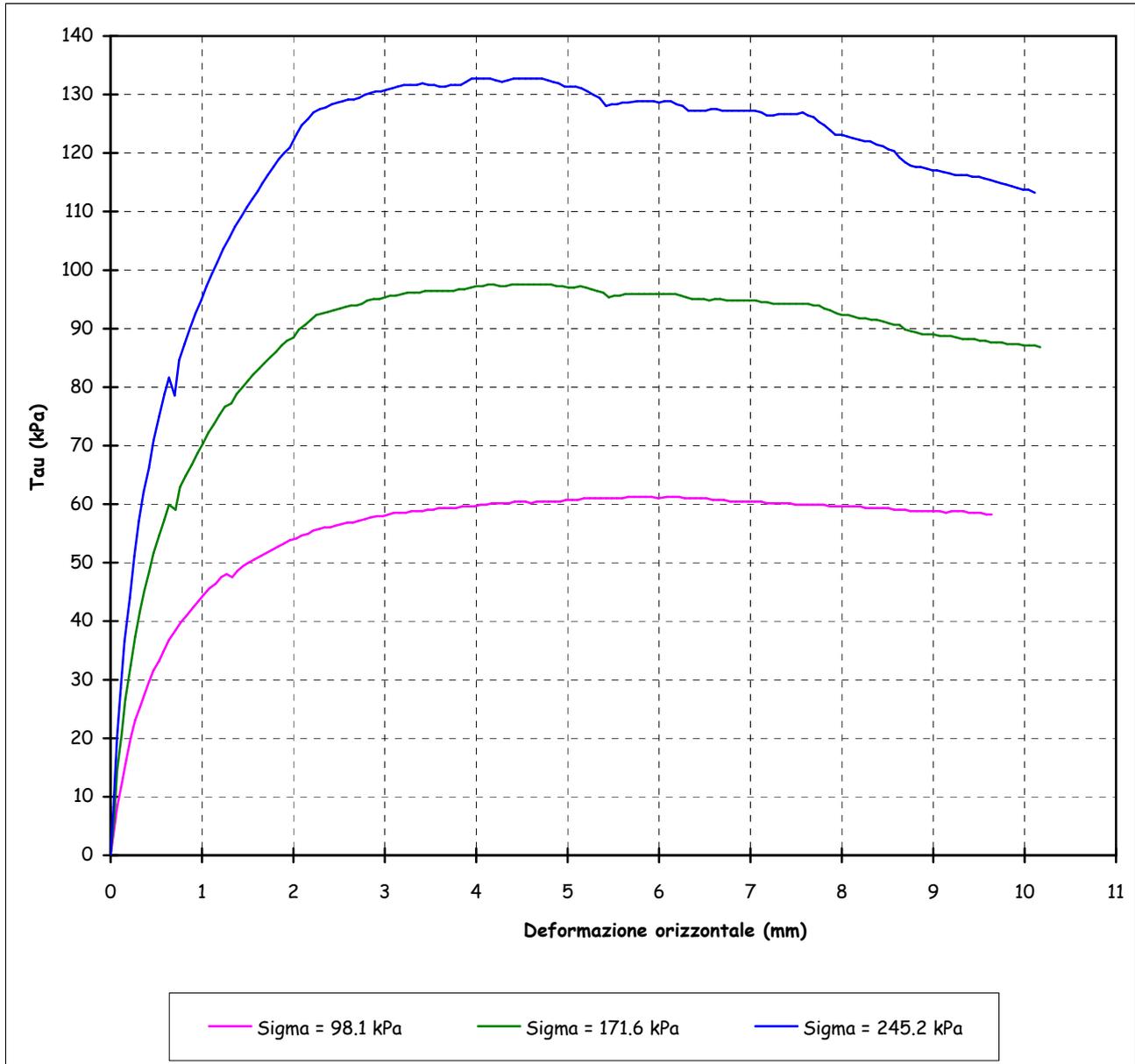
**CERTIFICATO DI PROVA N.1625/2019**

**CAMPIONE S1Cr2** profondità 19.0 - 19.5 m  
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 149/19 del 11/09/19  
Data prova: 25/09/19 - 07/10/19

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Grafico deformazione orizzontale - Tau



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 149/19 del 11/09/19

### Tabella riassuntiva Certificati di Prova n. 1621-1625/2019

CAMPIONE	S1Cr2
Profondità metri	19.0 - 19.5
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	16.12
Limite liquido (%)	38
Limite plastico (%)	20
Indice di plasticità (%)	18
Indice di consistenza	1.22
Indice di attività	1.20
Classificaz. Casagrande	CL
<b>Granulometria</b>	
Ghiaia (%)	19.5
Sabbia (%)	52.2
Limo (%)	21.1
Argilla (%)	7.2
<b>Classificazione UNI 10006</b>	
Gruppo	A2-6
Indice di gruppo	1
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	20.2
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	17.4
<b>Prova di Compressione E.L.L.</b>	
Coesione non drenata, $C_u$ (kPa)	115.1
Modulo elastico tangente iniziale, $E_{ti}$ (kPa)	18907
<b>Prova di taglio diretto</b>	
Coesione, $C'$ (kPa)	13.8
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	25.9
<b>Prova edometrica</b>	
Rapporto di ricompressione, $R_r$	0.01403
Rapporto di compressione, $R_c$	0.08407
Rapporto di rigonfiamento, $R_s$	0.02853
Pressione di preconsolidazione, $\sigma'_{vmax}$ (kPa)	175
$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	5.969E-03
$K$ (cm/sec)	3.787E-08
$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	7.940E-03
$K$ (cm/sec)	5.089E-08

Michele Gallo





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

## Certificati di Prova n. 1616-1620/2019

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Archiano

DATA ESECUZIONE PROVE: 16/09/19 - 21/10/19

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

CAMPIONI:

S1Cr1 profondità 15.4 - 15.9 m

### Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 6 - Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)
- 7 - Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)
- 8 - Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

Pag. 1 di 2

**CERTIFICATO DI PROVA N.1616/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data apertura campione: 16/09/19

**Descrizione del campione**

Campione semidisturbato prelevato da cassetta da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 52 cm: sabbia limosa argillosa molto addensata con sporadici elementi litici colore grigio

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, granulometria, E.L.L., edometria e taglic



Classe e grado di qualità (sec. A.G.I.)

Campione a disturbo limitato Q-4

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



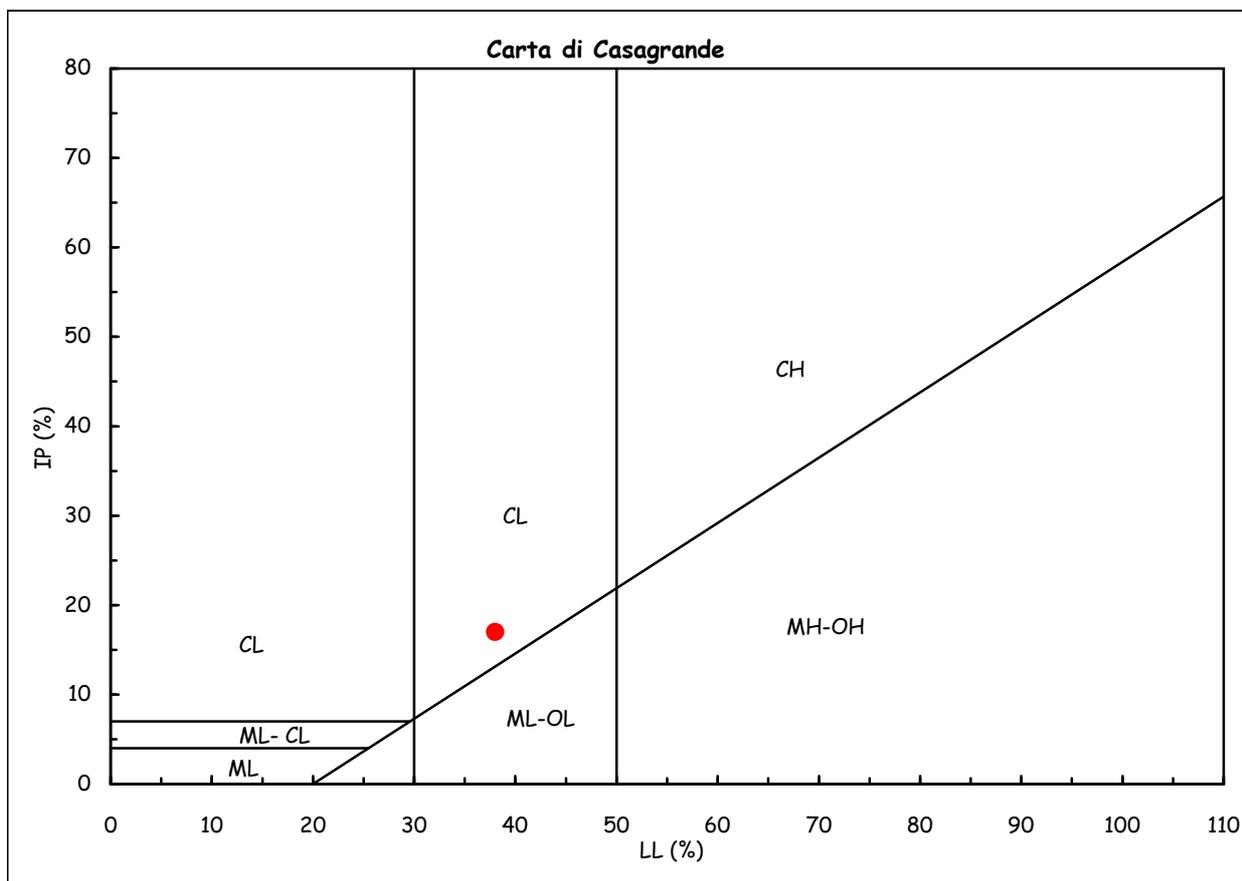
**CERTIFICATO DI PROVA N.1616/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 16/09/19 - 23/09/19

**Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)**  
**Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)**

Contenuto d'acqua (Wn) =	12.78%	Limite di liquidità (LL) =	38%
Limite di plasticità (LP) =	21%	Indice di plasticità (IP) =	17%
Indice di consistenza (Ic) =	1.48	Indice di attività (Iat) =	0.86

CL = argille inorganiche di  
media plasticità



**Classificazione UNI 10006**

Gruppo: A6

Indice di gruppo: 4

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1617/2019**

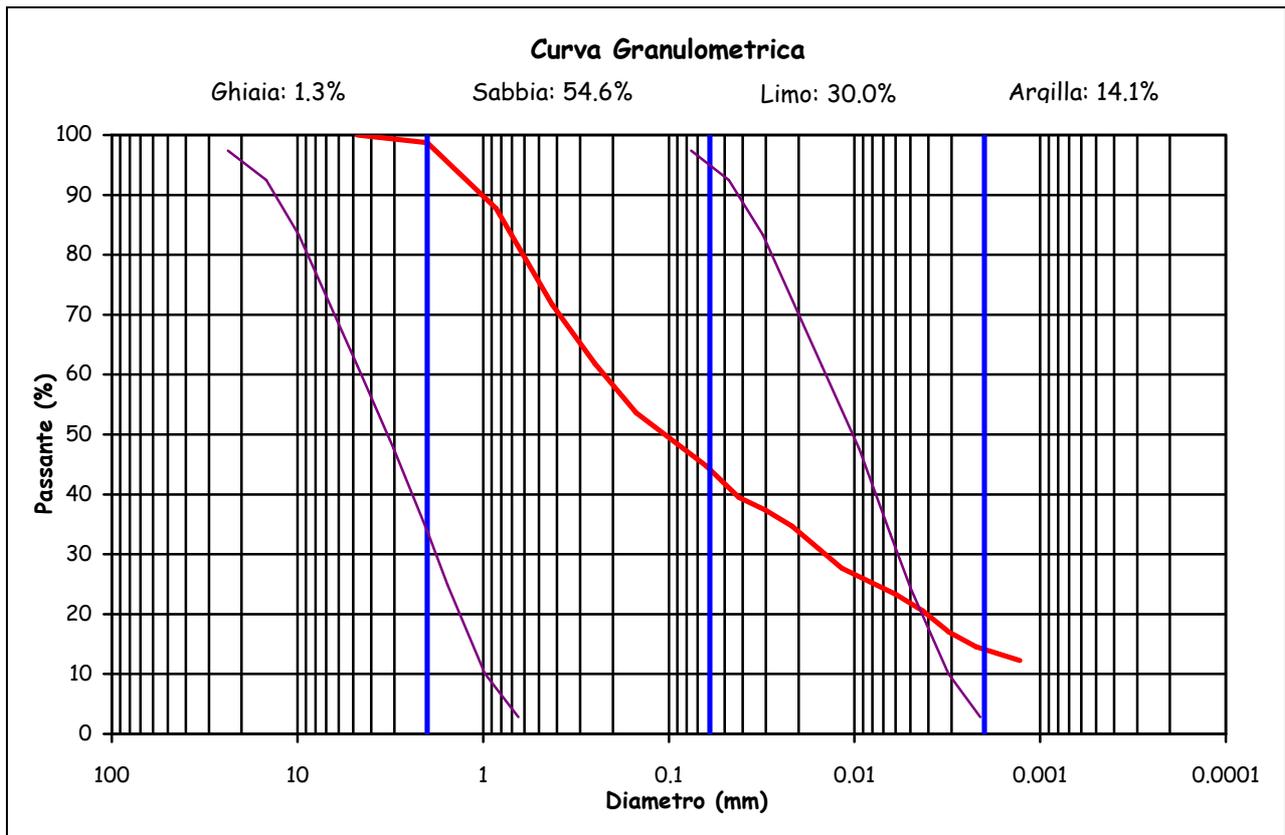
<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 16/09/19 - 26/09/19

**Analisi granulometrica**

Setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
4.75	100	0.0420	39.5
2	98.7	0.0301	37.4
0.850	87.7	0.0217	34.7
0.425	71.7	0.0117	27.7
0.250	61.8	0.0060	23.3
0.150	53.6	0.0043	20.6
0.063	44.7	0.0031	17.0
		0.0022	14.6
		0.0013	12.3



Definizione secondo A.G.I.:  
Ghiaia con sabbia limosa

Fusi granulometrici critici nei confronti della liquefazione (Tsuchida, 1970)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*



**CERTIFICATO DI PROVA N.1617/2019**

**CAMPIONE S1Cr1 profondità 15.4 - 15.9 m**

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

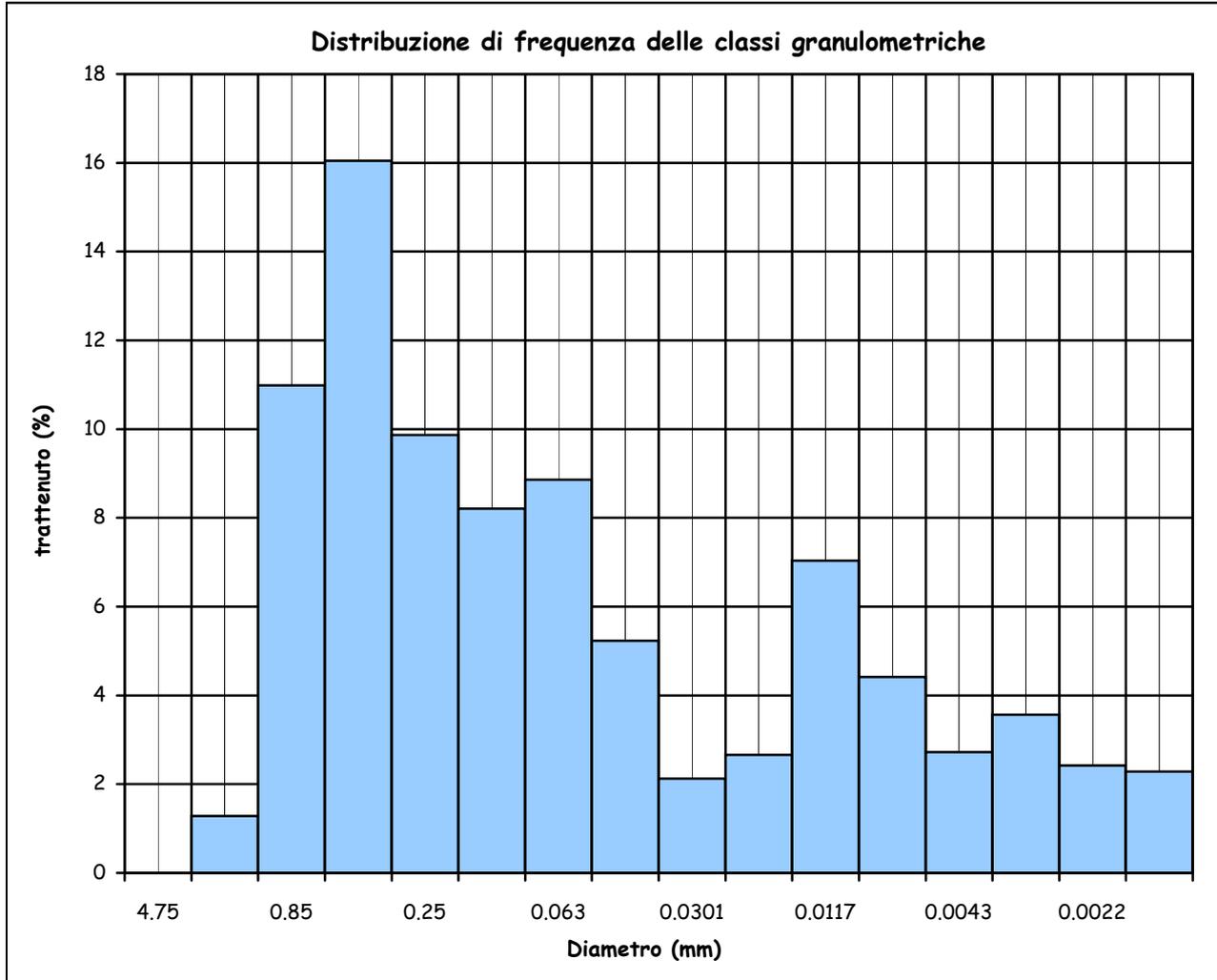
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

Data prova: 16/09/19 - 26/09/19

**Analisi granulometrica**



Coefficiente di uniformità (Cu) = -

Coefficiente di curvatura (Cc) = -

Mediana 0.1146

Moda 0.4250

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1618/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 18/10/19 - 21/10/19

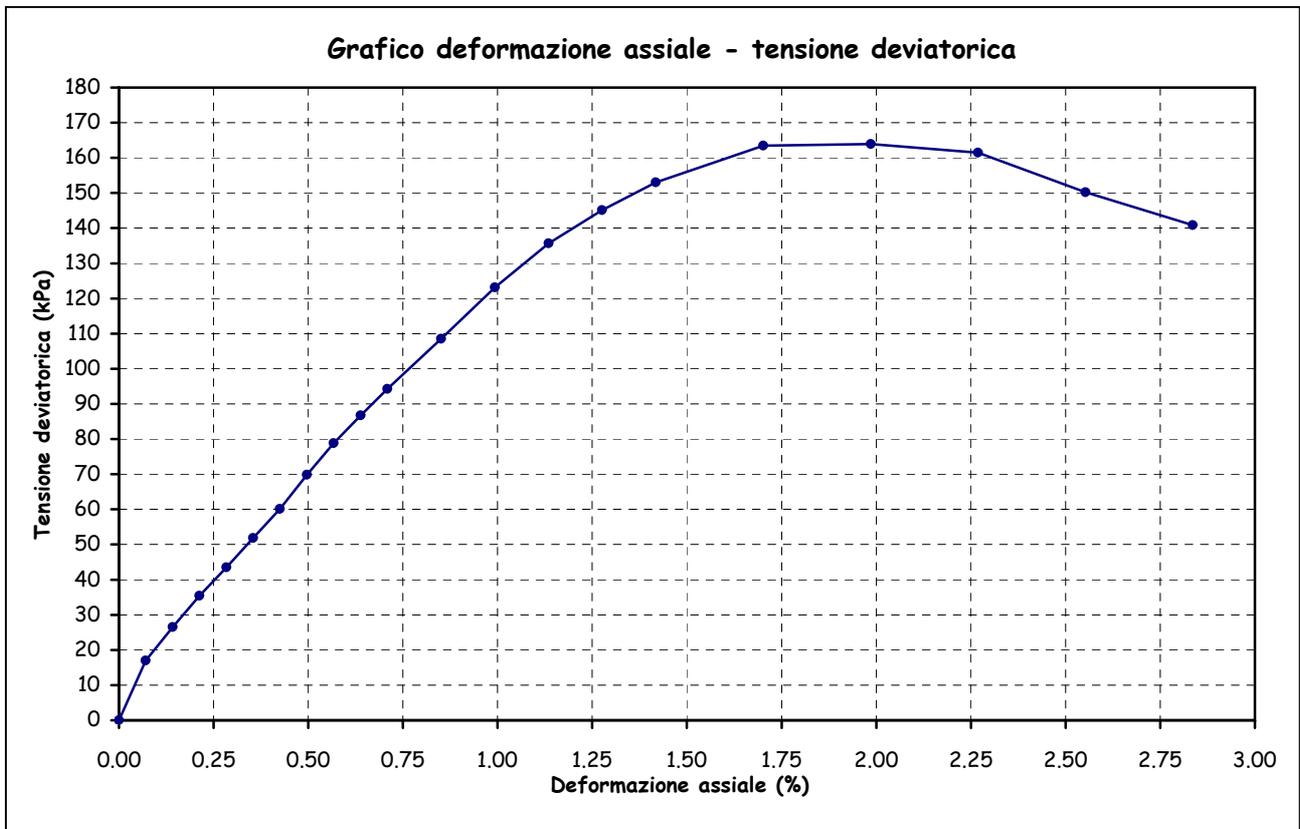
Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di compressione con espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7)

Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	21.4	Sigma a rottura (kPa)	163.9
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	19.1	Coesione non drenata (kPa)	81.9
Contenuto d'acqua (%)	12.11	Modulo elastico	11879
Vel. def. (mm/min)	1.27	tangente iniziale (kPa)	

$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kPa)	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kPa)	$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kPa)
0.07	17.0	0.71	94.3	2.55	150.3
0.14	26.5	0.85	108.5	2.84	140.9
0.21	35.5	0.99	123.1		
0.28	43.5	1.13	135.7		
0.35	51.9	1.28	145.1		
0.43	60.2	1.42	153.1		
0.50	69.9	1.70	163.5		
0.57	78.8	1.99	163.9		
0.64	86.7	2.27	161.5		



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*

**CERTIFICATO DI PROVA N.1619/2019**

CAMPIONE S1Cr1 profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)

	Iniziale	Finale
Altezza (mm)	20.006	18.596
Volume (cmc)	40.105	37.278
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.2	21.5
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	17.2	18.5
Contenuto d'acqua (%)	11.99	16.31

Pressione (kPa)	Cedimento (%)	Mv (m <sup>2</sup> /kN)
6.1	0.000	--
12.2	0.000	0.0000000
24.5	0.000	0.0000000
48.9	0.297	0.0001216
97.8	1.293	0.0002035
195.7	3.567	0.0002324
391.4	6.404	0.0001450
782.7	9.711	0.0000845
1565.5	12.972	0.0000417
391.4	11.442	0.0000130
97.8	9.251	0.0000746
24.5	7.047	0.0003004

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



IGETECMA s.n.c.

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

**CERTIFICATO DI PROVA N.1619/2019**

**CAMPIONE S1Cr1** profondità 15.4 - 15.9 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

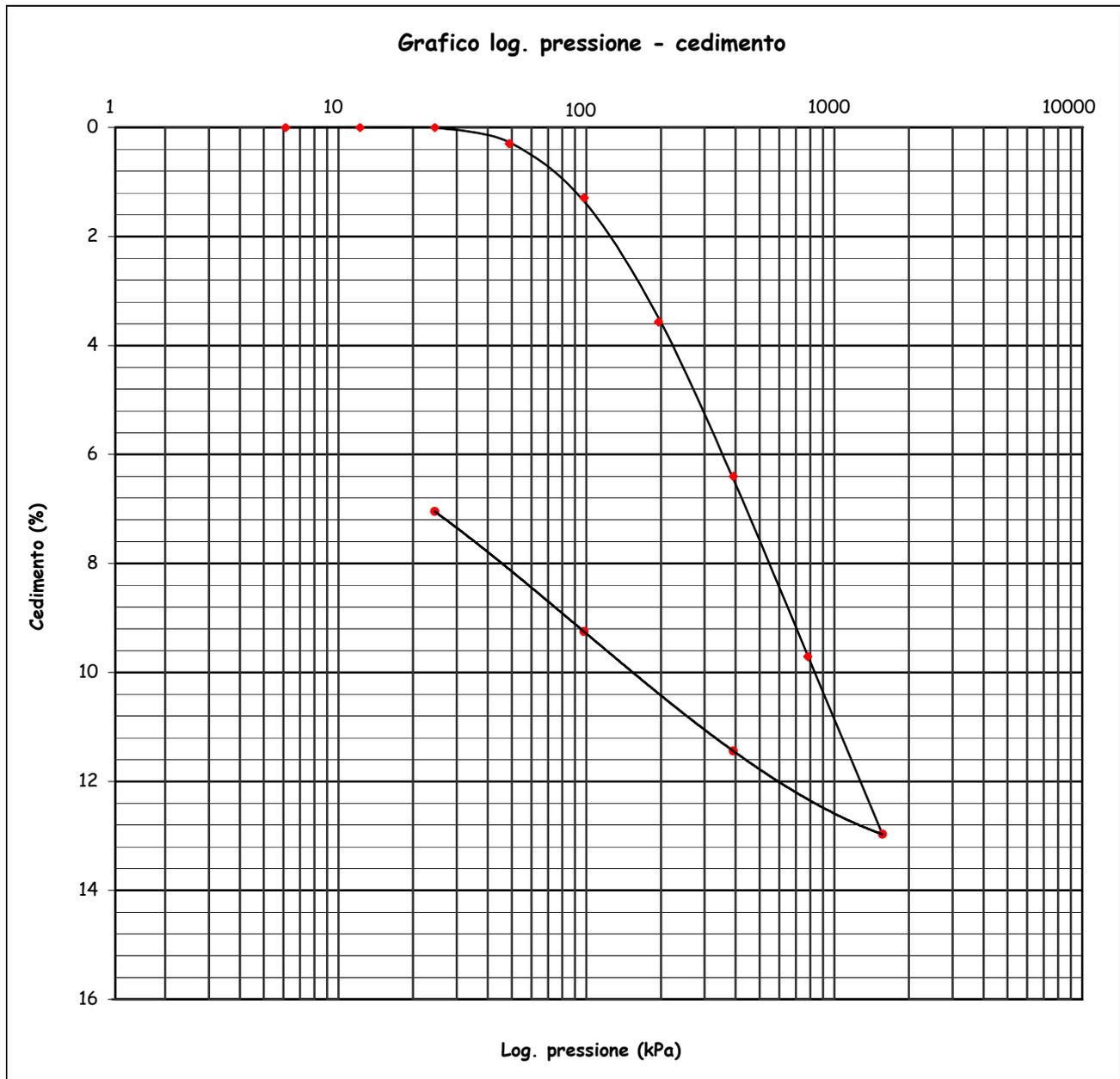
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

LOCALITA': Archiano

Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)



Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1619/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

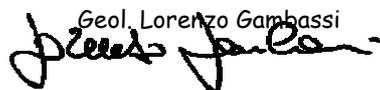
**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)****Cedimento in funzione del tempo**

carico da 97.8 a 195.7 kPa

tempo (minuti)	Cedimento (10 <sup>-3</sup> mm)
0.10	642.00
0.17	660.00
0.25	674.00
0.50	693.25
1.00	723.50
2.00	750.25
4.00	774.00
8.00	794.25
15.00	809.25
30.00	822.80
60.00	834.75
120.00	845.25
240.00	854.90
480.00	863.75
1445.00	872.20

carico da 195.7 a 391.4 kPa

tempo (minuti)	Cedimento (10 <sup>-3</sup> mm)
0.10	1156.00
0.17	1180.00
0.25	1199.00
0.50	1235.00
1.00	1272.85
2.00	1311.15
4.00	1347.00
8.00	1372.00
15.00	1398.00
30.00	1413.00
60.00	1431.00
120.00	1444.80
294.00	1460.50
494.00	1469.15
1431.00	1481.85

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  




Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  




**CERTIFICATO DI PROVA N.1619/2019**

**CAMPIONE S1Cr1** profondità 15.4 - 15.9 m

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

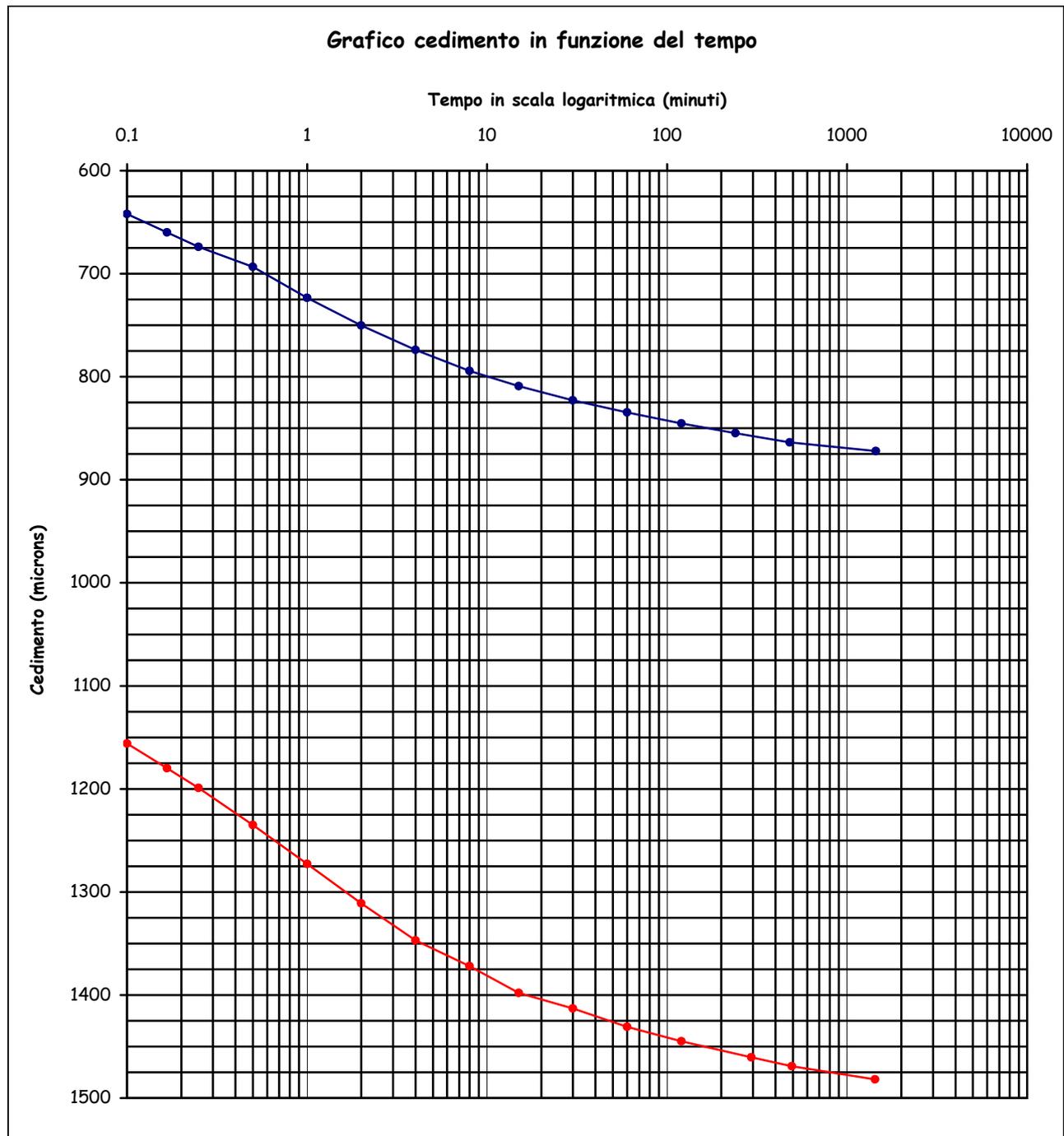
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

V.A. n. 149/19 del 11/09/19

Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)**



Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1620/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 15.4 - 15.9 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 149/19 del 11/09/19
LOCALITA': Archiano	Data prova: 25/09/19 - 07/10/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Peso di volume naturale iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	17.2	17.2	17.1
Peso di volume umido finale (kN/m <sup>3</sup> )	20.1	21.9	24.2
Peso di volume secco iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	15.2	15.2	15.2
Peso di volume secco finale (kN/m <sup>3</sup> )	16.8	18.4	20.4
Contenuto d'acqua iniziale (%)	13.45	13.01	12.32
Contenuto d'acqua finale (%)	19.60	18.99	18.23
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.0040	0.0040	0.0040
Sigma (kPa)	73.6	122.6	171.6
Tau a rottura (kPa)	55.6	85.3	125.6

Provino 1		Provino 2		Provino 3	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
0.12	12.7	0.17	16.9	0.15	19.9
0.34	21.6	0.37	32.9	0.38	49.5
0.59	30.7	0.59	44.8	0.64	67.4
0.78	35.7	0.91	55.3	0.91	76.0
1.12	41.2	1.20	59.7	1.27	84.0
1.48	44.2	1.56	64.1	1.62	88.9
1.83	47.3	1.98	67.4	2.06	93.1
2.26	49.5	2.41	70.7	2.49	97.2
2.67	51.7	2.91	72.7	3.00	99.4
3.23	51.7	3.49	74.3	3.51	101.1
3.74	52.8	4.07	75.7	4.11	103.3
4.32	53.3	4.67	76.8	4.72	104.4
4.91	54.2	5.33	77.6	5.36	106.6
5.61	54.2	6.05	79.5	6.02	109.9
6.28	55.0	6.86	80.1	6.75	111.0
7.03	54.7	7.60	82.3	7.56	115.4
7.77	54.7	8.49	84.2	8.38	117.9
8.59	55.6	9.35	85.3	9.18	120.9
9.37	55.3	10.22	85.1	10.13	123.1
10.24	54.2	11.09	84.2	11.07	124.5
11.04	53.9	11.97	83.1	12.01	125.6

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



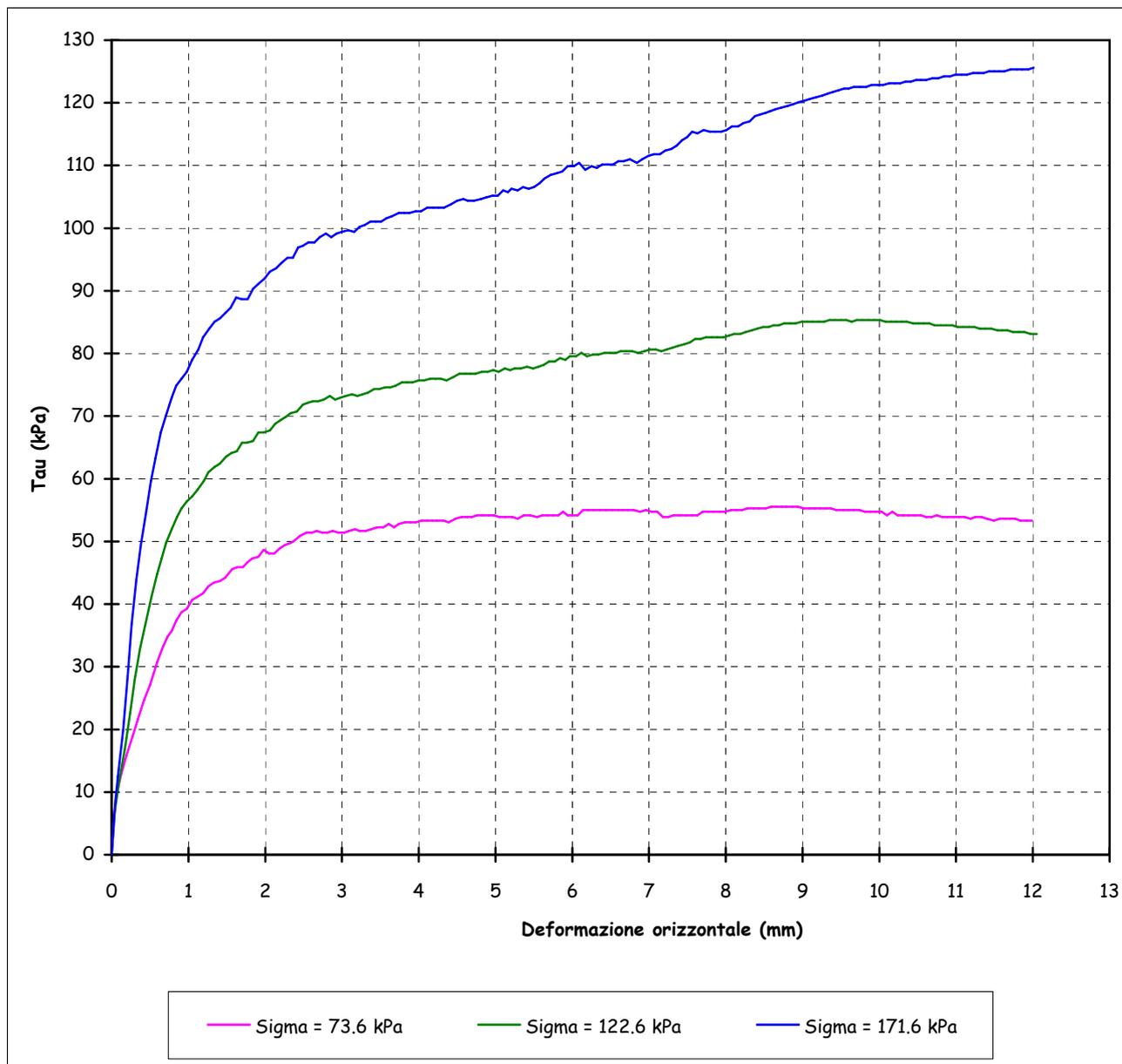
**CERTIFICATO DI PROVA N.1620/2019**

**CAMPIONE S1Cr1** profondità 15.4 - 15.9 m  
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 149/19 del 11/09/19  
Data prova: 25/09/19 - 07/10/19

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Grafico deformazione orizzontale - Tau



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Archiano

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 149/19 del 11/09/19

**Tabella riassuntiva Certificati di Prova n. 1616-1620/2019**

<b>CAMPIONE</b>	<b>S1Cr1</b>
Profondità metri	15.4 - 15.9
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	12.78
Limite liquido (%)	38
Limite plastico (%)	21
Indice di plasticità (%)	17
Indice di consistenza	1.48
Indice di attività	0.86
Classificaz. Casagrande	CL
<b>Granulometria</b>	
Ghiaia (%)	1.3
Sabbia (%)	54.6
Limo (%)	30.0
Argilla (%)	14.1
<b>Classificazione UNI 10006</b>	
Gruppo	A6
Indice di gruppo	4
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	17.1 - 21.4
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15.2 - 19.1
<b>Prova di Compressione E.L.L.</b>	
Coesione non drenata, $C_u$ (kPa)	81.9
Modulo elastico tangente iniziale, $E_{ti}$ (kPa)	11879
<b>Prova di taglio diretto</b>	
Coesione, $C'$ (kPa)	1.2
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	35.6
<b>Prova edometrica</b>	
Rapporto di ricomprensione, $R_r$	0.02147
Rapporto di compressione, $R_c$	0.10910
Rapporto di rigonfiamento, $R_s$	0.03650
Pressione di preconsolidazione, $\sigma'_{vmax}$ (kPa)	111
$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	4.056E-03
$K$ (cm/sec)	3.810E-08
$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)	3.880E-03
$K$ (cm/sec)	2.795E-08

*Michele Gallo*

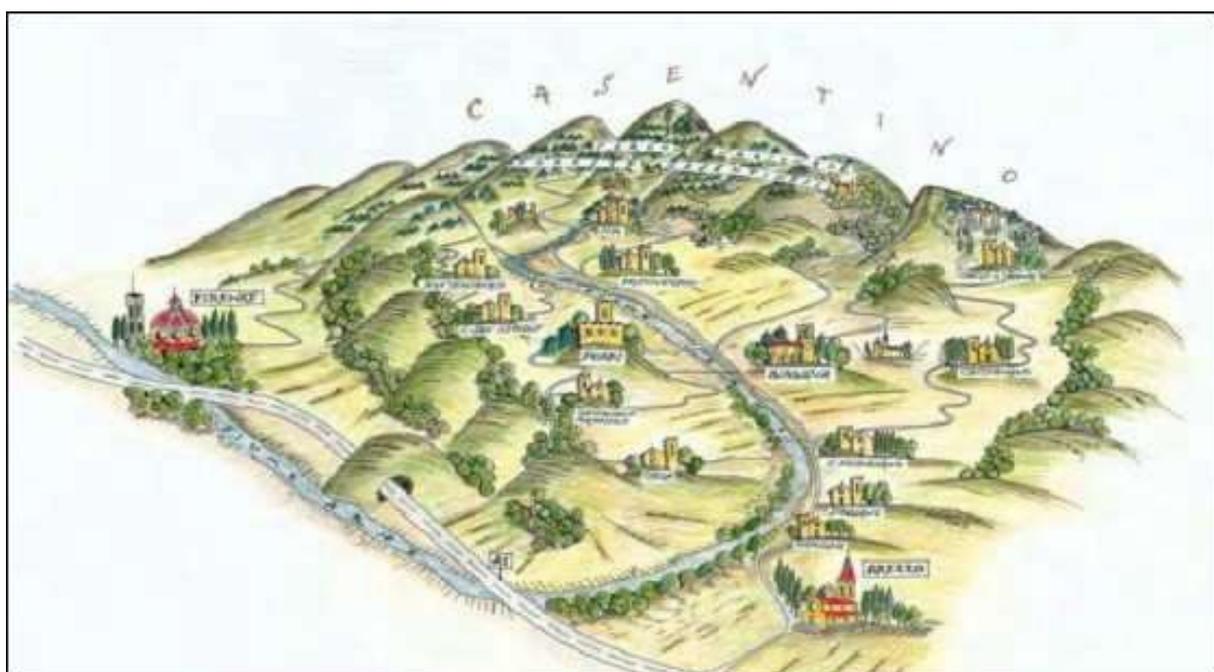


# UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO

Via Roma, 203 – 52014 – Ponte a Poppi, Poppi (Ar) – [unione.casentino@postacert.toscana.it](mailto:unione.casentino@postacert.toscana.it) - CF/P. IVA: 02095920514



## SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA TRATTO FIUME ARNO CASENTINO 2° STRALCIO – 3° LOTTO



### **PASSERELLA SUL TORRENTE CORSALONE**

**Elaborato: Studio geologico tecnico**

data: 17/10/2019



STUDIO GEOLOGICO  
**Dott. LUIGI FARINI**

Via Case Venti, 11b - 52010 - Badia Prataglia (AR)  
Tel. e Fax: 0575 / 594 277 - Cell: 338 / 59 87 380 - E-mail: [farini.luigi@geologi.it](mailto:farini.luigi@geologi.it)  
Codice Fiscale: FRN LGU 67L16A 851G - Partita I.V.A.: 0 1 9 4 5 2 1 0 5 1 4

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	5
	2.1 Morfologia.....	5
	2.2 Geologia.....	5
	2.3 Idrogeologia.....	6
3	GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
	3.1 Indagini penetrometriche.....	7
	3.2 Perforazione a rotazione con carotaggio continuo.....	8
	3.3 Standard Penetration Test – S.P.T.....	9
	3.4 Analisi dei campioni.....	9
	3.5 Indagini geofisiche.....	10
	3.5.1 MASW.....	10
	3.5.2 Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR.....	12
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	13
	4.1 Caratterizzazione da indagini penetrometriche statiche.....	14
	4.1.1 Peso unità di volume.....	14
	4.1.2 Interpretazione stratigrafica.....	14
	4.1.3 <i>Angolo di resistenza al taglio <math>\varphi</math> e Coesione non drenata <math>C_u</math></i> .....	15
	4.1.4 Modulo edometrico.....	15
	4.2 Caratterizzazione da indagini penetrometriche dinamiche.....	15
	4.2.1 Peso unità di volume.....	16
	4.2.2 <i>Angolo di resistenza al taglio <math>\varphi</math></i> .....	16
	4.2.3 Coesione non drenata $C_u$ .....	17
	4.2.4 Modulo edometrico $E_d$ .....	17



4.3 R.Q.D. (Rock Quality Designation).....	17
4.4 Resistenza alla compressione monoassiale della roccia.....	17
4.5 Angolo d'attrito e coesione dell'ammasso.....	18
4.5.1 Classificazione di Bieniawski.....	18
4.5.2 Criterio di rottura di Hoek-Brown.....	19
4.6 Determinazione parametri caratteristici e di progetto.....	21
5 CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO.....	23
5.1 Vita Nominale della Struttura (VN) (§ 2.4.1 NTC-18).....	23
5.2 Classi d'Uso (CU) (§ 2.4.2 NTC-18).....	23
5.3 Periodo di Riferimento (VR) (§ 2.4.3 NTC-18).....	23
5.4 Stati Limite e Probabilità di Superamento (§ 3.2.1 NTC-18).....	24
5.5 Definizione del Periodo di Ritorno (§ 3.2.1 NTC-18).....	24
5.6 Classificazione Topografica del Sito (§ 3.2.2 NTC-18).....	25
5.7 Determinazione delle Categoria di Sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-18).....	25
5.8 Frequenza di sito.....	27
5.9 Sismicità di Riferimento su Suolo Standard.....	27
5.10 Definizione della Pericolosità Sismica di Base (§3.2 NTC-18).....	28
6 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	29
6.1 Parametri sismici.....	29
6.2 Coefficienti Sismici.....	30
7 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-18).....	30
8 REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI.....	31
9 CONCLUSIONI.....	31



## 1 PREMESSA

La presente relazione costituisce il supporto geologico al progetto dei lavori di realizzazione di realizzazione del “Sistema Integrato dei percorsi ciclabili dell’Arno e del Sentiero della Bonifica tratto Fiume Arno Casentino 2° stralcio – 3° lotto” per la passerella sul Torrente Corsalone in Comune di Chiusi della Verna – AR.

L’area, secondo il Piano Strutturale è classificata: **Pericolosità Geomorfologica G1. “Pericolosità Geomorfologica bassa”** (Tav. 6), la **Pericolosità Idraulica I.4 “Pericolosità Idraulica molto elevata”** (Tav. 7). La pericolosità di frana secondo il P.A.I. - Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno, è in area non classificata, mentre il rischio di alluvioni secondo il P.G.R.A. - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Fiume Arno, risulta a pericolosità **P.3 Pericolosità Ellevata, per alluvioni frequenti** (TAV. 8).

Le relative fattibilità, riportate in Tav. 9, assegnate in funzione della tabella allegata al Regolamento Urbanistico, nell’allegata scheda del Regolamento Urbanistico indicano: **Fattibilità Geomorfologica F2: “Fattibilità con normali vincoli”**; la **Fattibilità Idraulica F4 “Fattibilità limitata”**.

Il presente lavoro è svolto in conformità alle norme vigenti:

- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*

Inoltre ai sensi della nuova DPGR n. 36/R del 9/07/2009 (Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza delle opere e delle costruzioni nelle zone soggette a rischio sismico - Pubblicato sul BURT n. 25 del 17/07/2009), per questo tipo d’intervento non ci sono indicazioni particolare, pertanto come indicato per gli studi geologici delle passerelle del I° lotto, viene considerata per questo tipo di lavoro la classe di indagine n. 3, nella quale, *...la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante indagini geofisiche, quali quelle sismiche a rifrazione o riflessione, eseguite nel sito oggetto di studio. In presenza di problematiche di versante sono altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio basate su sondaggi geognostici. La definizione dei parametri geotecnici è basata su sondaggi geognostici.*



Tavole allegate alla relazione:

<i>Tavola</i>	<i>Scala</i>
Certificati indagini geognostiche	--
1. Inquadramento topografico	1 : 10.000
2. Carta geologica	1 : 5.000
3. Planimetria intervento con ubicazione indagini	1 : 500
4. Sezione geotecnica	1 : 200
5. Carta idrogeologica del Piano Strutturale	--
6. Carta pericolosità geologica del Piano Strutturale	--
7. Carta pericolosità idraulica del Piano Strutturale	--
8. Carta estratto PAI - pericolosità di frana e PGRA pericolosità alluvioni	--
9. Tabella assegnazione classe di fattibilità geologica	--
10. Tabella assegnazione classe di fattibilità idraulica	--

## 2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.

Il sito in esame è posto lungo il corso del Torrente Corsalone, ad una quota di circa 313 m s.l.m., nelle vicinanze dalla confluenza di quest'ultimo con il Fiume Arno (TAV. 1 e 2) .

### 2.1 MORFOLOGIA

La zona è un fondovalle fluviale, modellato dall'azione del Torrente Corsalone, con presenza sistemazioni idrauliche a difesa delle sponde. L'area è pianeggiante con pendenze inferiori al 5%.

Dai sopralluoghi svolti attorno all'area d'intervento, hanno evidenziato l'assenza sul territorio circostante di indizi che possano far pensare adire o siano riferibili alla presenza di fenomeni geologici attivi o quiescenti pericolosi per l'intervento stesso.

Le caratteristiche morfologiche, ricavate da osservazioni di campagna, hanno evidenziato la notevole antropizzazione del territorio circostante la zona oggetto di studio, con la presenza di sistemazioni agrarie e opere idrauliche.

### 2.2 GEOLOGIA

Geologicamente, la zona studiata è rappresentata dai **DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI TERRAZZATI** (Olocene, depositi di ambiente fluviale, depositi dopo la fase distensiva plio-pleistocenica. Costituiti da depositi sciolti quali sabbie, ghiaie e limi ). I terreni affioranti nel resto dello stralcio cartografico allegato sono rappresentati da **DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI** (Olocene, depositi recenti di ambiente fluviale, costituiti da litotipi a granulometria generalmente grossolana. Dal punto di vista litologico, sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli arenacei con sabbie e limi)



**DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI TERRAZZATI** (Pleistocene superiore, depositi di ambiente fluviale, depositi dopo la fase distensiva plio-pleistocenica. Costituiti da depositi sciolti quali sabbie, ghiaie e limi ) **FORMAZIONE DI MONTE MORELLO** (Eocene inf. – medio Alternanza di marne, calcari marnosi, calcisiltiti e calcareniti di colore biancastro; lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune).

### 2.3 IDROGEOLOGIA

Durante le indagini geognostiche non è stata rilevata presenza di falda acquifera. La carta idrogeologica (TAV. 5) indica la presenza di vari pozzi; dalla carta piezometrica non riporta la soggiacenza della falda acquifera; ad ogni modo stimabile ad una quota di 305 m s.l.m., che pone la falda attorno a 5,00 m. da piano campagna sulla sponda destra e circa 3,00 m. sulla sponda sinistra.

Dall'andamento delle isopieze della carta idrogeologica, risulta che la falda acquifera, nel sottosuolo locale, si muove in direzione sud ovest, venendo di fatto drenata dal Fiume Arno.

## 3 GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche commissionate da Unione dei Comuni del Casentino e coordinate dal sottoscritto quale Direttore Lavori delle stesse, sono state eseguite sui due fianchi del Torrente Corsalone come indicato in TAV. 3. Tali indagini hanno avuto lo scopo di evidenziare, assieme ai rilievi geomorfologico sul territorio, le caratteristiche dei terreni presenti del sito di studio in modo da rilevarne le possibili complicazioni di natura geologica e geotecnica e sismica e poter fornire dati utili per la loro progettazione. Le indagini utilizzate per redigere il presente studio sono le seguenti:

- **indagini penetrometriche** : n. 2 prove penetrometriche, di cui una eseguita con metodologia statica CPT estesa sino alla profondità alla quale è stata rilevato rifiuto all'infissione. Questa, successivamente è stata proseguita con infissione dinamica superpesante DPSH ed estesa sino a rifiuto strumentale all'infissione. La seconda prova invece è stata eseguita completamente con metodologia dinamica superpesante DPSH ed estesa sino alla profondità alla quale è stata rilevato rifiuto all'infissione
- **Perforazione a rotazione con carotaggio continuo**: n. 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi entrambi 20,0 (S1 e S2), svolti ciascuno sulle sponde del Torrente Corsalone. Per ottenere ulteriori dati geotecnici sui



terreni attraversati, durante i sondaggi sono state eseguite n. 6 Standard Penetration Test (S.P.T.) e prelevati n. 5 campioni rimaneggiati entro le argilliti ed arenarie del substrato locale.

- **Analisi geotecniche sui campioni prelevati:** Nei campioni di roccia prelevati sono state eseguite le seguenti analisi: prova a compressione uniassiale e Point Load Test.
- **indagini geofisiche:** n. 2 prospezioni geofisiche di sismica attiva con metodologia MASW; n. 2 postazioni di sismica passiva con metodologia HVSR.

Questo tipo di indagine geognostica ha permesso una caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni presenti, dalla quale ricavare:

1. una buona definizione degli orizzonti con qualità geologiche e geotecniche complessivamente differenti
2. una buona definizione delle condizioni geologiche del terreno.

Le prove penetrometriche CPT, DPSH e SPT, hanno avuto lo scopo di caratterizzare i terreni dal punto di vista geotecnico, integrando le stesse con le litologie dei terreni incontrati e le analisi di laboratorio sui campioni prelevati. Queste in associazione con le indagini geofisiche hanno permesso la definizione di un modello geotecnico e sismico del sottosuolo dove sorgerà la passerella. Si è potuto ricavare pertanto, con sufficiente definizione la sequenza stratigrafica locale, che ha permesso di discretizzare orizzonti con differenti caratteristiche fisico-meccaniche.

L'indagine MASW in associazione con HVSR sono state utilizzate per specificare la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro  $V_{s,eq}$ . Le informazioni rilevate dalle analisi di rumore ambientale con l'HVSR, hanno avuto lo scopo, oltre che di definire le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

### 3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE

I risultati delle verticali penetrometriche sono stati utilizzati per raccogliere indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati e definirne di conseguenza la successione litotecnica locale. L'ubicazione delle prove penetrometriche è riportata in TAV. 3.

La strumentazione utilizzata per eseguire le verticali penetrometriche è il penetrometro dinamico PAGANI TG 63-200 attrezzato con punta meccanica Begemann, la quale ha le seguenti caratteristiche tecniche:



*area di base punta conica: 10 cmq.*  
*apertura angolare della punta: 60°*  
*diametro punta: 35.7 mm.*

*lunghezza aste: 1.00 m.*  
*superficie manicotto laterale: 150 cmq.*  
*velocità avanzamento: 2 cm /sec*

Il penetrometro statico, è dotato di una punta meccanica di tipo “telescopico” la quale può essere infissa, entro certe profondità (8 cm.), indipendentemente dalle aste; è composta da cono di base (punta) e da un manicotto sopra la punta. L’attrezzatura è predisposta in modo che la spinta possa agire separatamente, prima sulla punta poi sul manicotto; le aste, infatti, sono cave e dotate di un’astina al centro per poter muovere la punta telescopica. Il sistema, permette di rilevare le misure tramite una cella di carico interposta tra la testa di spinta del penetrometro e la batteria di aste. I dati rilevati durante l’infissione delle aste, ogni 20 cm di profondità, sono la resistenza alla punta LP e la resistenza laterale locale LL.

Ma durante l'esecuzione delle prove statiche CPT, avendo riscontrato rifiuto strumentale a poca profondità dal piano campagna, si è deciso proseguire ogni prova con metodo di infissione dinamico superpesante DPSH.

La strumentazione utilizzata per eseguire la prova DPSH è sempre il penetrometro dinamico PAGANI TG 63-200, questa volta attrezzato in accordo con le normative internazionali (ISSMFE) ha le seguenti caratteristiche tecniche:

<i>peso massa battente: 63.5 Kg.</i>	<i>altezza di caduta: 75.0 cm.</i>	<i>area di base punta conica: 20 cmq.</i>
<i>angolo apertura punta conica: AGI 90°</i>	<i>peso asta 7 Kg / ml</i>	<i>diametro della punta conica 50,50 mm</i>
<i>avanzamento punta: 20 cm</i>	<i>Lunghezza aste: 1.00 m.</i>	<i>Peso sistema di battuta: 30 Kg</i>

La prova dinamica superpesante consiste nel misurare il numero di colpi N necessari per far avanzare di 20 cm nel terreno la punta conica.

Le due metodologie di infissione sono state svolte sempre lungo la medesima verticale, in prosecuzione l'una dell'altra, cambiando la configurazione di lavoro del penetrometro e sempre sino al raggiungimento del rifiuto strumentale all'infissione.

### 3.2 *PERFORAZIONE A ROTAZIONE CON CAROTAGGIO CONTINUO*

Il sondaggio geotecnico è consistito nella perforazione a carotaggio continuo in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati. Durante tali operazioni, oltre l'estrazione di carote per il riconoscimento della litostratigrafia dei terreni



sono stati prelevati campioni rimaneggiati; su quest'ultimi saranno eseguite delle analisi di laboratorio geotecnico. Inoltre entro il foro di sondaggio sono state eseguite prove geotecniche tipo SPT.

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una sonda con testa idraulica di rotazione alla quale sono collegate delle aste di perforazione sulla cui cima è alloggiato un utensile di perforazione (carotiere). Al fine di evitare il franamento del foro tra una manovra di carotaggio e l'altra, nel caso in cui il terreno non si auto sosteneva, è stato usato del rivestimento metallico provvisorio.

### 3.3 STANDARD PENETRATION TEST – S.P.T.

È una prova discontinua, realizzata nel foro durante l'esecuzione dei carotaggi. Tale prova viene eseguita nel foro preventivamente ripulito, e consiste nella infissione a percussione, di un campionatore a punta aperta con pareti grosse (campionatore Raymond) o come nel caso dei sondaggi S1 ed S2, vista la tipologia dei terreni, è stata montata sul campionatore una punta chiusa. Tutto il sistema di prova ha le seguenti caratteristiche: diametro esterno di 51 mm; il dispositivo di percussione comprende una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste, un maglio di acciaio di 63.5 kg (140 libbre), un sistema di guida e sganciamento automatico del maglio che assicuri una corsa a caduta libera fissa pari a 0.76 m (30 pollici).- Con questa prova vengono registrati i colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT) del campionatore. Durante l'infissione infatti, si registrano i colpi necessari a produrre l'avanzamento totale di 45 cm.

### 3.4 ANALISI DEI CAMPIONI

Nel corso della perforazione di sondaggio sono stati prelevati solo campioni di roccia del substrato, per sottoporli successivamente ad analisi e prove di laboratorio, per poterne determinarne i parametri geotecnici. Le analisi eseguite sono:

- Peso di volume naturale, secondo la norma Boll. Uff. CNR n. 40
- Prova a compressione uniassiale, secondo la norma ASTM 2938-95
- Point Load Test, secondo la norma ASTM D 5731-95

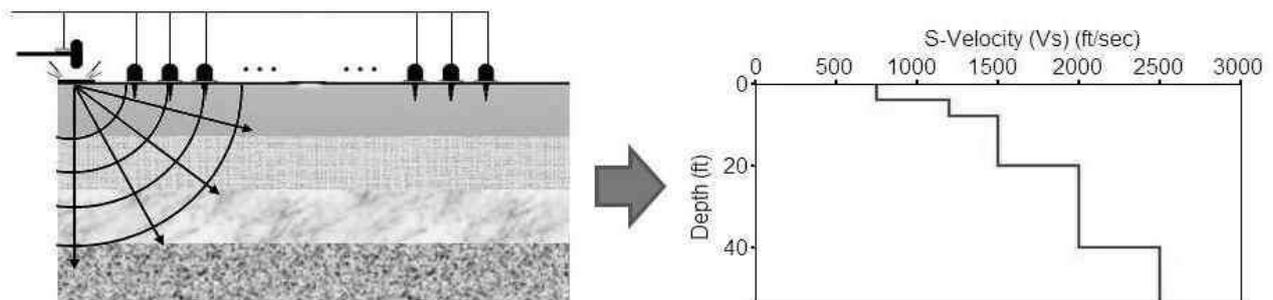
I dettagli delle analisi sono riportati nei certificati prodotti dal Laboratorio IGETECMA s.n.c. ed allegati alla presente relazione.



### 3.5 INDAGINI GEOFISICHE

#### 3.5.1 MASW

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una metodologia non invasiva, basata su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999). Tale metodologia di prospezione geofisica del sottosuolo, consente di ottenere un profilo verticale delle Vs, a partire dall'analisi della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh, analizzando anche le modalità di propagazione e la loro velocità a diverse frequenze.



Le onde di Rayleigh, viaggiano con una velocità diversa correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalle onde stesse. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase; questa proprietà è definita come dispersione. È proprio questa proprietà dispersiva che viene utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e interessano gli strati più profondi del suolo. La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio Vs e dalla frequenza. Quindi onde di Rayleigh di diversa lunghezza d'onda forniscono informazioni a diverse profondità del sito investigato.

Le dati sulla velocità delle onde di taglio Vs rilevate in sito, sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità d'investigazione.

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase sperimentale, detta curva di dispersione apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte più

superficiale del suolo; in genere sui primi 30 m. ÷ 50 m. variabili in funzione della rigidità del suolo. La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che le onde S sono parametri di prim'ordine nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Tali onde, campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda stessa e la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato; la forma di questa curva è sostanzialmente influenzata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Perciò, utilizzando apposite convenzioni è possibile stabilire una relazione diretta, ma analiticamente complessa, fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. La relazione che ne consegue, consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curva di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità", che fondamentalmente sono rappresentati come Modello Medio e Modello Migliore; utilizzati poi per giungere alla definizione degli spessori di terreno a diversa  $V_s$ .

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica,
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Trigeo Snc ed allegati alla presente relazione.



### 3.5.2 *Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR*

Tale indagine geofisica è molto rapida nell'esecuzione e può essere applicata praticamente ovunque. Il suo vantaggio è che non necessita perforazioni nel sottosuolo, stendimento di cavi ed energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.

Questo metodo d'investigazione costituisce una parte importante nella determinazione del rischio sismico di un sito in quanto permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza del sito. Quest'ultima rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale. Il valore di questo parametro dovrà essere tenuto presente nella realizzazione di nuove strutture, infatti queste non dovranno avere la medesima frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", molto pericolose in caso di sisma.

Ciò che viene registrato con questa indagine sono le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) che sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  mm (Okada, 2003). Rispetto alle frequenze di queste vibrazioni, il rumore sismico che viene registrato, è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze, in genere maggiori di 0.5 Hz.

L'origine di questo rumore sismico sono molteplici come ad esempio le perturbazioni atmosferiche, l'energia data da onde del mare che si propagano sul terreno, le sorgenti di origine antropica come il traffico veicolare, le attività industriali etc. Tutte queste sorgenti, fanno che si generino delle onde superficiali di Rayleigh le quali poi si propagano nel terreno.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- *Spettri di Fourier*
- *Rapporti spettrali*
- *Rapporti spettrali H/V*

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come



metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW ) e della componente verticale V.

Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate su singola stazione posta sul terreno. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi ('71) e Shiono et al. ('79), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza, per un determinato sito, si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale dei terreni presenti sul luogo oggetto di studio.

Nel 1989, Nakamura propose il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri :

- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;*
- ✓ *la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$  e della densità e quindi delle velocità  $V_{s30}$  nei primi 30 m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;*
- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare;*

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Trigeo Snc ed allegati alla presente relazione.

#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

In riferimento alle prove penetrometriche statiche e dinamiche (CPT, DPSH e SPT), si è proceduto all'elaborazione dei dati acquisiti per giungere alla definizione dei parametri geotecnici, i quali sono stati integrati dalle risultanze delle analisi di laboratorio geotecnico e dalle stratigrafie rilevate durante i sondaggi.

Per le prove statiche si sono utilizzati i valori della resistenza alla punta LP e della lettura resistenza laterale



locale LL. Da tali elaborazioni sono state determinati i valori di resistenza alla punta  $R_p$  e di resistenza laterale  $R_l$ , dai loro rapporti e correlazioni sono stati determinati i parametri geotecnici caratterizzanti gli orizzonti investigati.

Per le prove dinamiche, in base al numero di colpi  $N$  registrati, si sono definiti tramite correlazioni, i parametri geotecnici attinenti ad ogni strato identificato con tale tipo d'indagine.

Dalle indagini svolte a seconda delle profondità investigate, sono stati discretizzati, quattro orizzonti geotecnici differenti.

Per ciascun orizzonte, sono state definite le peculiarità geotecniche utili alla progettazione.

#### 4.1 CARATTERIZZAZIONE DA INDAGINI PENETROMETRICHE STATICHE

I parametri geotecnici calcolabili per terreni investigati tramite prove CPT attraverso le correlazioni dirette con i valori di  $R_p$  sono i seguenti:

1. Peso unità di volume;
2. Interpretazione stratigrafica;
3. Coesione non drenata  $C_u$ ;
4. Angolo di resistenza al taglio
5. Modulo edometrico  $E_d$ ;

##### 4.1.1 *Peso unità di volume*

E' stata utilizzata a quanto proposto da Mayne 2010:

$$\gamma = 1,95 \times \gamma_w \times \left( \frac{\sigma'_v}{100} \right)^{0,06} \times \left( \frac{f_s}{100} \right)^{0,06}$$

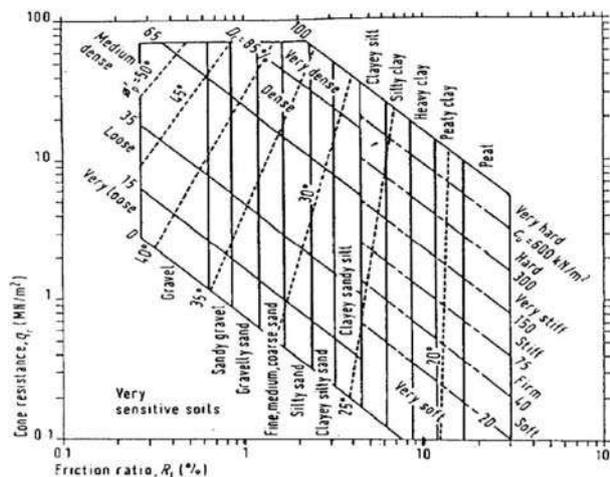
dove:

- $\gamma_w$  peso di volume dell'acqua
- $\sigma'_v$  pressione litostatica efficace
- $f_s$  resistenza d'attrito laterale

##### 4.1.2 *Interpretazione stratigrafica*

Una prima classificazione dei terreni investigati con la CPT è la stima della litologia del livello di terreno interessato dalla prova. Infatti, esaminando i principali valori misurati, ovvero la resistenza alla punta  $R_p$ , la resistenza





laterale  $R_l$  ed il loro rapporto  $Fr$  (friction ratio) è possibile valutare tale parametro, utilizzando il Metodo di Searle – '79 con lo stesso grafico come di seguito indicato.

4.1.3 *Angolo di resistenza al taglio  $\phi$  e Coesione non drenata  $C_u$*

Il valore dell'angolo di attrito efficace, per i terreni a comportamento prevalentemente non coesivo, e la coesione non drenata, per i terreni limo-argillosi od a prevalenza argillosa, può essere determinato impiegando diagramma integrato di interpretazione di Searle – '79 (vedi grafico precedente ed interpretazione allegata alla presente relazione).

4.1.4 *Modulo edometrico*

- Metodo di Robertson e Campanella.

Il metodo di Robertson e Campanella è valido per le sabbie in genere. Si basa sulla seguente relazione

$$Me \text{ (Kg / cmq)} = 0.03 \times Rp + 11.7 \times \sigma + 0.79 \times Dr\%$$

- Mitchell e Gardner

Il metodo, valido per argille in genere, si basa sulla seguente relazione:

$$Me \text{ (Kg / cmq)} = \alpha \times Rp$$

dove  $R_p$  è la resistenza alla punta media dello strato e  $\alpha$  è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno.

4.2 *CARATTERIZZAZIONE DA INDAGINI PENETROMETRICHE DINAMICHE*

L'elaborazione dei dati ottenuti nella verticale penetrometrica dinamiche, ha visto la conversione da  $N_{DPSH}$  a  $N_{SPT}$ ; per far questo sono ricorso al metodo proposto da La Croix e Horn (1973):



$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N_{DPSH}$$

dove:  
 W = peso del maglio  
 H = altezza di caduta  
 D = diametro del cono  
 L = penetrazione standard  
 N<sub>DPSH</sub> = numero colpi misurato nella prova

Successivamente ho provveduto alla normalizzazione del dato N<sub>SPT</sub>, da questo al suo valore normalizzato N<sub>60</sub>' come definito da norma europea EN ISO 22476-3:2002 che prevede:

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_R$$

dove

N<sub>SPT</sub> = numero colpi SPT

C<sub>E</sub> = correzione del rapporto di energia altezza di caduta con  $C_E = \frac{E_R}{60}$  ed E<sub>R</sub> è il rendimento di battitura della norma ASTM 4633-86

C<sub>R</sub> = correzione per la lunghezza delle aste

Il valore ottenuto è stato a sua volta normalizzato per la pressione litostatica con la formula:

$$N_{1(60)} = C_N \cdot N_{60}$$

dove C<sub>N</sub> è il coefficiente di Liao e Whitman (1986) determinato con:  $C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$

#### 4.2.1 *Peso unità di volume*

Determinata con una relazione polinomiale messa a punto da Bruschi A. (1980)

$$\gamma = 98,1 (1,39 + 0,053 N_{60} - 0,0011 N_{60}^2 + 0,0000076 N_{60}^3)$$

#### 4.2.2 *Angolo di resistenza al taglio φ*

Il valore dell'angolo di attrito è stato determinato tramite la formula indicata da Hatanaka e Hucida (1996, 1998),

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{1(60)}}$$

di Schmertmann (1975),



$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,20 + 20,3 \cdot \frac{\sigma'_{v'}}{98,1}} \right)$$

#### 4.2.3 Coesione non drenata $c_u$

Questo parametro geotecnico è stato determinato attraverso la relazione di Terzaghi e Peck (1948)

$$c_u = 6,40 \cdot N_{60}$$

e da Bruschi (2004).

$$c_u = 6,50 \cdot N_{60}$$

#### 4.2.4 Modulo edometrico $E_d$

Valutato mediante la correlazione proposta da Mayne e Frost (1988) per terreni incoerenti

$$M = q_c \cdot 10^{(Q-0,0075 \cdot D_R)}$$

e dalla relazione di Schulze e Menzenbach (1961) per terreni a grana fine.

$$M = 8,25 \cdot (q_c - \sigma'_{v'})$$

#### 4.3 R.Q.D. (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Il valore del parametro R.Q.D. è definito come la percentuale di recupero di carotaggio in roccia di spezzoni con lunghezza superiore ai 10 cm rispetto alla lunghezza totale perforata.

$$R.Q.D.(\%) = \frac{\sum \text{Lunghezza spezzoni} \geq 10 \text{ cm.}}{\text{Lunghezza totale del carotaggio}}$$

Sulla base di tale caratterizzazione è possibile stimare la qualità della roccia:

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 ÷ 25	MOLTO SCADENTE
26 ÷ 50	SCADENTE
51 ÷ 75	DISCRETA
76 ÷ 90	BUONA
91 ÷ 100	ECCELLENTE

Dalle stratigrafie svolte dopo la campagna geognostica, si è proceduto al calcolo dell'R.Q.D. nel substrato litoide, ed è quasi sempre risultato  $\neq 0\%$ .

#### 4.4 RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE MONOASSIALE DELLA ROCCIA

Gli spezzoni roccia prelevati dopo il carotaggio sono stati analizzati eseguendo su questi prove di



compressione uniassiale. Mentre i campioni di roccia per i quali non è stato possibile eseguire la compressione uniassiale, sono stati sottoposti alla prova di Point Load Test.

Entrambe queste prove sono state usate per determinare la resistenza a compressione della roccia  $\sigma_c$ , valore poi utilizzato per caratterizzare dal punto di vista geotecnico l'ammasso roccioso.

#### 4.5 ANGOLO D'ATTRITO E COESIONE DELL'AMMASSO

I valori di R.Q.D. della roccia sono stati utilizzati, attraverso software dedicati, per la caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso, utilizzando i criteri di classificazione di Bieniawski -1989 ed Hoek-Brown 2002.

##### 4.5.1 Classificazione di Bieniawski

La classificazione di Bieniawski tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione (R6) il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).

$$\text{RMR base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$\text{RMR corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

I parametri sono:

RMR = Rock Mass Rating

R1 ( $\sigma_c$  - Resistenza a compressione monoassiale);

R2 (RQD% - Rock Quality Designation);

R3 (s - Spaziatura delle discontinuità);

R4 Condizioni dei giunti

R5 Condizioni idrauliche dei giunti

R6 l'orientamento delle discontinuità

Ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale ricavato da abachi a seconda del valore (per RQD%,  $\sigma_c$  e s) o della condizione idraulica. Le tabelle seguenti riportano i criteri di determinazione dell'indice RMR:

PARAMETRI		Valori						
Resistenza a compressione uniassiale (Mpa)		> 250	100 - 250	100 - 50	50 - 25	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente R1		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Coefficiente R2		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 - 2 m	60 - 20 cm	20 - 6 cm	< 6 cm		
Coefficiente R3		20	15	10	8	5		
Condizioni delle discontinuità		Sup. molto rugosa, non alterata, discont. chiuse non continue	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, poco alterate	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, molto alterate	Sup. lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1- 5 mm e continui	Riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui		
Coefficiente R4		30	25	20	10	0		
Condizioni idrauliche	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza (l/min)	nessuna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Condizioni generali	Asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Venute d'acqua		
Coefficiente R5		15	10	7	4	0		



Orientamento discontinuità		Valori				
Direzione di immersione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Poco favorevole	Sfavorevole	Molto sfavorevole
	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Coefficiente R6	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	-60

Dettagli sulle condizioni delle discontinuità R4 = A + B + C + D + E	Valori				
Lunghezza discontinuità	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Coefficiente A	6	4	2	1	0
Apertura	nessuna	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Coefficiente B	6	5	4	1	0
Rugosità	Molto rugosa	Rugosa	Leggermente rugosa	Liscia	Levigata
Coefficiente C	6	5	3	1	0
Riempimento	nessuno	Materiale duro < 5 mm	Materiale duro > 5 mm	Materiale tenero < 5 mm	Materiale tenero > 5 mm
Coefficiente D	6	4	2	2	0
Alterazione	Inalterata	Leggermente alterata	Moderatamente alterata	Molto alterata	Decomposta
Coefficiente E	6	5	3	1	0

Classi di qualità dell'ammasso roccioso	Valori				
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
Coesione (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 200
Angolo d'attrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

I parametri di resistenza e di elasticità sono dedotti dall' $RMR_{base}$  :

- coesione in termini di tensioni efficaci:

$$c' = 5 \cdot RMR_{base} \quad (\text{KPa});$$

- angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci:

$$\varphi' = 5 + RMR_{base} / 2 \quad (^\circ);$$

- modulo di deformabilità:

relazione di Bieniawski (1978)

$$E_d = 2 R RMR_{base} - 100 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} > 50$$

relazione di Serafim Pereira (1983)

$$E_d = 10 ( RMR_{base} - 10 ) / 40 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} < 50$$

#### 4.5.2 Criterio di rottura di Hoek-Brown

Attraverso il parametro G.S.I. ricavato dalla classificazione di Bieniawski è possibile ricavare le grandezze m, s



ed a , necessarie per la definizione del criterio di rottura di Hoek e Brown, secondo la relazione

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left( \frac{m \cdot \sigma_3'}{\sigma_c + s} \right)$$

$\sigma_1'$  è lo sforzo efficace principale massimo alla rottura;  
 $\sigma_3'$  è lo sforzo efficace principale minimo alla rottura;  
 $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;  
 m, s, sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

Dall'equazione precedente si derivano le seguenti espressioni dei parametri di resistenza al taglio equivalenti all'involuppo dei cerchi di Mohr:

$$\tau = A \cdot \sigma_c \cdot \sqrt{\left( \frac{\sigma_c - \sigma_{tm}}{\sigma_c} \right)}$$

$\tau$  è la tensione di taglio alla rottura;  
 A e B sono costanti del materiale;  
 $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;  
 $\sigma_n'$  è lo sforzo normale efficace;  
 $\sigma_{tm}$  è la resistenza a trazione pari a:

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_c}{2} \cdot (m - \sqrt{m^2 + 4s})$$

L'angolo d'attrito istantaneo è dato:

$$\phi_i' = \arctan \left[ A \cdot B \cdot \left( \frac{\sigma_n' - \sigma_{tm}}{\sigma_c} \right)^{B-1} \right]$$

La coesione istantanea è data da:

$$c_i' = \tau - \sigma_n' \cdot \tan' \phi_i'$$

Le costanti A e B si ricavano da un'analisi di regressione di un gruppo di valori di  $\tau$  e  $\sigma_n'$  ricavati da prove triassiali:

$$B = \frac{\left[ \sum XY - \sum X \cdot \sum \frac{Y}{n} \right]}{\left[ \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}$$

dove:

$$A = 10 \left( \sum \frac{Y}{n} - B \cdot \sum \frac{X}{n} \right) \quad - \quad x = \log \left[ \frac{(\sigma_n' - \sigma_{tm})}{\sigma_c} \right] \quad - \quad Y = \log \left( \frac{\tau}{\sigma_c} \right)$$

e dove n è il numero della coppia di valori  $\tau$  e  $\sigma_n'$ ;

Le costanti m ed s sono legate all'indice GSI (Geological Strength Index) di Hoek dalle relazioni:



$$m = m_i \cdot e^{\frac{(GSI-100)}{28}}$$

$$\text{con } GSI \geq 25: \quad S = e^{\frac{(GSI-100)}{9}} \quad \text{Con } GSI \geq 25: \quad S = 0$$

con l'indice GSI che si può stimare dall'indice  $RMR_{base}$  di Bieniawski

$$GSI = RMR_{base} - R5 + 15$$

#### 4.6 DETERMINAZIONE PARAMETRI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

La normativa vigente impone la definizione dei **parametri caratteristici del terreno  $X_k$**  dai **valori medi  $X_m$**  ricavati dalle indagini geognostiche. Le istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici indicano che nelle valutazioni che il tecnico deve svolgere per pervenire ad una corretta scelta dei valori caratteristici appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai **valori medi** quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, come nel caso di fondazioni superficiali, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità tale a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Le stesse istruzioni indicano invece di fare riferimento ai **valori minimi** quando siano coinvolti modesti volumi di terreno, fondazioni su pali, verifica a scorrimento di un muro di sostegno, con concentrazione del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dagli strati meno resistenti a quelli più resistenti a causa dell'insufficiente rigidità della struttura.

Pertanto nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, devono quindi essere utilizzati i parametri caratteristici opportunamente interpretati come sopra indicato e parametri ridotti, **parametri di progetto  $X_d$** , overosia ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto.

La resistenza  $R_d$  è determinata in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza del terreno, divisi per i coefficienti parziali  $\gamma_m$  di seguito riportati nella Tabella 6.2.II delle NTC 2008:



PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_m$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Gli orizzonti geotecnici discretizzati come descritto in precedenza, hanno permesso di definire una sequenza stratigrafica come di seguito descritta e riportata nella sezione geotecnica allegata in TAV. 4 :

1. orizzonte più superficiale rappresentato da sabbie limose con ghiaia;
2. il secondo livello costituito da ghiaie e sabbie in matrice argillosa;
3. il terzo orizzonte costituito da calcari marnosi ed argilliti intensamente fratturati ed alterati
4. il quarto orizzonte costituito da calcari marnosi fratturati.

Prendendo in considerazione i parametri geotecnici derivanti dalle correlazioni su indicate, analizzando gli stessi in funzione della tipologia dell'intervento prevista ed ai fini della progettazione geotecnica riteniamo corretta la definizione dei seguenti **parametri medi  $X_m$**

LITOLOGIA	Peso Vol. $\gamma$ t/mc	Ang. Attr. $\varphi$	Coesione drenata $c'$ Kg/cmq	Coes nn dren $C_u$ Kg/cmq	Mod Edom. $E_d$ Kg/cmq
Sabbie limose con ghiaia	1,85	29,50	--	0,42	40
Ghiaie e sabbie in matrice	2,05	35,10	--	1,80	200
Argilliti e calcari alterati	2,40	25,17	1,70	--	500
Calcari marnosi fratturati	2,42	34,40	2,17	--	10 GPa

Da cui è possibile definire i seguenti **parametri caratteristici  $X_k$** :

LITOLOGIA	Peso Vol. $\gamma$ t/mc	Ang. Attr. $\varphi$	Coesione drenata $c'$ Kg/cmq	Coes nn dren $C_u$ Kg/cmq	Mod Edom. $E_d$ Kg/cmq
Sabbie limose con ghiaia	1,85	28,38	--	0,30	40
Ghiaie e sabbie in matrice	2,05	34,76	--	1,69	200
Argilliti e calcari alterati	2,40	23,49	1,34	--	500
Calcari marnosi fratturati	2,42	32,10	1,63	--	10 GPa

Di conseguenza i **parametri di progetto  $X_p$**  sono quelli di seguito indicati:

LITOLOGIA	Peso Vol. $\gamma$ t/mc	Ang. Attr. $\varphi$	Coesione drenata $c'$ Kg/cmq	Coes nn dren $C_u$ Kg/cmq	Mod Edom. $E_d$ Kg/cmq
Sabbie limose con ghiaia	1,85	23,38	--	0,21	40
Ghiaie e sabbie in matrice	2,05	29,04	--	1,21	200
Argilliti e calcari alterati	2,40	19,17	1,08	--	500
Calcari marnosi fratturati	2,42	26,65	1,30	--	10 GPa



## 5 CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO

Su indicazione del progettista delle strutture, l'edificio oggetto del presente studio ha le seguenti tipologie del costruito:

### 5.1 VITA NOMINALE DELLA STRUTTURA (VN) (§ 2.4.1 NTC-18)

È intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, che per il caso in esame è la seguente:

Tipi di Costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50

### 5.2 CLASSI D'USO (CU) (§ 2.4.2 NTC-18)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono definite in classi d'uso a cui si associa un coefficiente d'uso  $C_u$  definito al variare della classe d'uso, nel caso esaminato la classe è:

Classe d'uso	Descrizione	$C_u$
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1,0

### 5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO (VR) (§ 2.4.3 NTC-18)

L'azione sismica è valutata in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  dell'opera e allo stato limite SL da verificare, cui è associata una prefissata probabilità di superamento PVR, che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_N \times C_u$$

Nel caso in esame:

$$V_R = 50 \times 1 = 50$$



#### 5.4 STATI LIMITE E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO (§ 3.2.1 NTC-18)

La normativa definisce quattro stati limite, al fine di indicare, in chiave sismica, le prestazioni della costruzione nel suo complesso.

Gli **Stati Limite di Esercizio SLE** sono:

**SLO - Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi

**SLD - Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli **Stati Limite Ultimi SLU** sono:

**SLV- Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per ciascuno si definisce una probabilità di superamento  $P_{VR}$ , che rappresenta la probabilità di accadimento, nel periodo di riferimento  $V_R$  di almeno un sisma a tempo di ritorno  $T_R$

Stati Limite		$P_{VR}$ : probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

#### 5.5 DEFINIZIONE DEL PERIODO DI RITORNO (§ 3.2.1 NTC-18)

Stabilito il Periodo di Riferimento  $V_R$  e la Probabilità di Superamento per ogni stato limite  $P_{VR}$  e ipotizzando che i terremoti seguano una distribuzione probabilistica di Poisson, si calcola il PERIODO di RITORNO  $T_R$  dell'azione sismica attraverso la formula:

$$T_R = \left[ \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \right]$$



Per il progetto in esame:

$V_R=50$	$SLU \rightarrow SLV \rightarrow P_{VR}=10\% \rightarrow T_R=475 \text{ anni}$
----------	--

### 5.6 CLASSIFICAZIONE TOPOGRAFICA DEL SITO (§ 3.2.2 NTC-18)

Nella definizione dell'azione sismica di progetto si devono considerare le seguenti categorie topografiche se di altezza > di 30 m.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in esame si considera:

**Categoria: T1**

Tale valore viene utilizzato per determinare l'amplificazione topografica  $S_T$  in base a quanto indicato nella Tabella 3.2.VI – NTC-18, dal quale si evince quanto sotto indicato:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

### 5.7 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC-18)

La determinazione di tale parametro, è definita attraverso la misurazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  entro il sottosuolo locale, sino alla profondità H alla quale è stata rilevata la presenza del substrato rigido, costituito da roccia, con  $V_s > 800 \text{ m/sec}$ . Tale misura rappresenta la velocità equivalente delle onde di tipo S; viene calcolata conoscendo gli spessori degli strati e la relativa velocità  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio di ognuno al di sopra del substrato rigido.

Tale valore è indicato come velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , e si calcola con



l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove: **h<sub>i</sub>** rappresentano lo spessore in metri

**V<sub>i</sub>** è la velocità delle onde di taglio dello strato *i*esimo, il tutto per un totale di strati presenti nei primi 30 metri di spessore di terreno.

Per la definizione delle velocità della  $V_{s,eq}$  si è utilizzata la prospezione sismica tipo MASW eseguite sulle due rive del Torrente Archiano. Con questa prospezione geofisica si è identificato il profilo di velocità delle onde di taglio e relativi spessori, quindi si è proceduto al calcolo della velocità equivalente ( $V_{s,eq}$ ) nei livelli con  $V_s < 800$  m/sec. ed infine all'individuazione della categoria sismica del suolo.

Nel profilo risultante in sinistra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate, siano stati individuati 4 diversi strati a differente velocità delle  $V_{sh}$ :

1. un primo strato di circa 4,50 m. di spessore, caratterizzato da una  $V_s$  media di 250 m/s;
2. uno strato di circa 2,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 450 m/s;
3. uno strato di circa 4,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 650 m/s;
4. uno strato di circa 4,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 800 m/s;
5. oltre da circa 14,50 m. di profondità è stata registrata una  $V_s$  di 1.000 m/s

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec è stato rilevato ad una profondità di 10,50 metri da p.c. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 367$  m/sec.**

Nel profilo risultante in destra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate (elaborazione per inversione), siano stati individuati 4 diversi strati a differente velocità delle  $V_{sh}$ :

1. un primo strato di circa 4,00 m. di spessore, caratterizzato da una  $V_s$  media di 300 m/s;
2. uno strato di circa 2,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 450 m/s;
3. uno strato di circa 5,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 600 m/s;
4. uno strato di circa 4,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 800 m/s;
5. oltre da circa 15,00 m. di profondità è stata registrata una  $V_s$  di 1.100 m/s

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec è stato rilevato ad una profondità di 8,20



metri da p.c. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 421 \text{ m/sec}$** .

Con le velocità indicate, in entrambi i casi, il suolo locale è ascrivibile alla categoria B; ma al fine della definizione del tipo di suolo, sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, si evidenziano le seguenti peculiarità:

le indagini geofisiche, hanno messo in luce un contrasto di rigidità sismica tra la copertura avente uno spessore di 10,50÷11,00 ml. ed il substrato con  $V_s > 800 \text{ m/sec}$ . La determinazione del suolo dalla sola media ponderata della velocità delle onde di taglio non appare corretta; perciò visto che in entrambe le sponde si ha un elevato contrasto di velocità tra le coperture e il substrato locale, ai fini della valutazione della pericolosità sismica del sito, ritengo di dare una maggiore rilevanza al contrasto d'impedenza sismica tra il substrato sismico e il terreno di copertura.

Dunque ritengo più cautelativo di adottare, per la passerella sul Torrente Corsalone, una categoria di sottosuolo:

**CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: E**

#### 5.8 FREQUENZA DI SITO

Per la sua definizione sono stati utilizzati i dati provenienti dall'analisi HVSr, per questa analisi è stato preso in considerazione il grafico *frequenza (x) ÷ ampiezza del rapporto HV (y)* rilevato sul sito con una registrazione del rumore di fondo del sito di 20 minuti, ottenendo un valore della **frequenza di sito  $f_0$**  pari a:

$$f_0 = 11.09 \pm 0.19 \text{ e } 116.56 \pm 10.0 \text{ Hz}$$

#### 5.9 SISMICITÀ DI RIFERIMENTO SU SUOLO STANDARD

L'attuale zonazione sismica del territorio nazionale, emanata con O.P.C.M. 3519 del 26 aprile 2006, classifica i comuni secondo quattro zone, definite attraverso i valori dell'accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$ :

Zona	$a_g$
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05



La Giunta Regionale Toscana ha approvato, con deliberazione n. 431 del Giugno 2006, la nuova mappa di classificazione sismica del territorio regionale. Per l'area oggetto di studio:

Comune	<b>CHIUSI DELLA VERNA</b>
Zona sismica	<b>2</b>
Accelerazione orizzontale massima al suolo di tipo A	<b><math>a_g = 0.25</math></b>

#### 5.10 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (§3.2 NTC-18)

La Pericolosità Sismica di Base è definita al sito specifico attraverso i seguenti parametri di scuotimento:

- ✓ **accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$**  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, su suolo di categoria A, con superficie topografica orizzontale;
- ✓ **lo spettro di risposta elastico** isoprobabile in accelerazione (componente orizzontale) in condizioni di campo libero su sito rigido con superficie topografica orizzontale, definito dai parametri  $F_0$  e  $Tc^*$ , rispettivamente valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione e periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta in accelerazione.

I parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $Tc^*$ , sono definiti in termini probabilistici con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nella vita di riferimento  $V_R$  del manufatto su tutto il territorio nazionale attraverso un reticolo di riferimento dello studio INGV con maglia avente passo <10 Km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni. Il calcolo dello spettro elastico  $Se(T)$  è data dalla seguente relazione:

$$Se(T) = a_g \times S \times \eta \times F_0$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al suolo (PGA);  
 $\eta$  = fattore di smorzamento determinato, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

$\xi$  = espresso in percentuale, è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_0$  = valore massimo dell'amplificazione spettrale  $\leq 2.2$

$S$  = coefficiente di Amplificazione che tiene conto del Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  che dipende dalle categorie di suolo e da Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  che dipende dalla Pendenza attraverso la relazione :

$$S = S_s \times S_T$$

Il coefficiente  $S_s$  si determina con la Tabella 3.2.V sotto riportata:



Categoria sottosuolo	Ss	Cc
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Mentre il coefficiente **Cc** è utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico è definito come sopra indicato. Entrambi necessari per definire l'amplificazione stratigrafica del sito.

## 6 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Relativamente al sito d'intervento sono stati calcolati gli Input Sismici di Progetto per tutti gli stati limite

Sito in esame: **Passerella sul Torrente Corsalone in località Corsalone – Comune di Chiusi della Verna - AR**

latitudine:	43,67820
longitudine:	11,82636
Classe d'uso:	2
Vita nominale Vn:	50

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine	Longitudine	Distanza m
Sito1	20510	43,672120	11,762150	5207,6
Sito2	20511	43,673120	11,831240	687,6
Sito3	20289	43,723110	11,829880	5002,4
Sito4	20288	43,722110	11,760750	7187,5

Le coordinate geografiche sono espresse su Datum ED50

### 6.1 PARAMETRI SISMICI

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento Vr:	50
Coefficiente d'uso Cu:	1



	Probabilità superamento %	Tr anni	Ag g	Fo	Tc* sec
Operatività (SLO)	81	30	0,059	2,488	0,263
Danno (SLD)	63	50	0,074	2,465	0,273
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,180	2,379	0,295
Prevenzione dal collasso( SLC)	5	975	0,228	2,386	0,301

### 6.2 COEFFICIENTI SISMICI

	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax m/sec <sup>2</sup>	Beta
SLO	1,600	1,960	1,000	0,019	0,009	0,924	0,200
SLD	1,600	1,930	1,000	0,024	0,012	1,161	0,200
SLV	1,530	1,870	1,000	0,066	0,033	2,705	0,240
SLC	1,400	1,860	1,000	0,089	0,045	3,132	0,280

## 7 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-18)

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori, quali le condizioni del terreno, inteso come fattore predisponente, e la sismicità del sito, intesa come fattore scatenante.

Il fenomeno della liquefazione riguarda i terreni, ovvero i suoli costituiti da materiale a comportamento granulare in presenza di falda e con terremoti a magnitudo  $M > 5,0$ .

La situazione del sito è stata caratterizzata da presenza al contatto tra letto alluvionale e substrato litoide locale, ed ai sensi del capitolo 7.11.3.4 delle NTC 2008 il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Per quanto riguarda l'intervento in oggetto, le spalle della passerella sul Torrente Solano saranno appoggiate su fondazioni profonde in modo da trasmettere i carichi direttamente sul substrato litoide costituite da pali che trasferiranno i carichi direttamente al substrato lapideo costituito da argilliti e talora arenarie

Pertanto, vista la situazione litostratigrafica si può affermare che i terreni, sui quali andranno a gravare le fondazioni, non sono soggetti al fenomeno di liquefazione.



## 8 REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI

Per la realizzazione dell'intervento in oggetto saranno indispensabili operazioni di scavo a sezione obbligata. La natura e le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti consentono, per la rimozione del terreno utilizzo di escavatori meccanici. Il terreno di risulta, previa caratterizzazione chimica, potrà essere riutilizzato in loco per rinterri e riporti, l'eccedenza, se non riutilizzato in loco, dovrà essere smaltita in luoghi idonei e preventivamente autorizzati.

Gli eventuali riporti, dovranno essere realizzati senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto e pendenza dei terreni, provvedendo al compattamento ed inerbimento del terreno stesso ed evitando che abbiano a verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.

Se verranno rinvenuti materiali lapidei di grosse dimensioni dovranno essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento ed assestamento dello stesso e potranno essere utilizzati sempre in sito, in condizioni di stabilità ed in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali.

I depositi temporanei di materiale terroso e/o lapideo, prodotti durante le fasi di cantiere, dovranno essere realizzati in modo da evitare fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. Tali depositi dovranno inoltre essere posti a debita distanza di sicurezza dai fronti di scavo, al fine di evitare sovraccarichi sui fronti stessi.

## 9 CONCLUSIONI

Alla luce delle indagini svolte e dei risultati ottenuti si ritiene che l'intervento edilizio in progetto PASSERELLA SUL TORRENTE CORSALONE - da eseguire nel Comune di Chiusi della Verna – AR, è compatibile con la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e la caratterizzazione geotecnica dell'area a condizione che siano rigorosamente osservate le indicazioni espresse nei paragrafi precedenti.

Sarà pertanto sufficiente attenersi alle normali disposizioni legislative. Si ribadisce che il controllo e la gestione del cantiere dovrà essere effettuata dal Direttore dei Lavori e dal Committente, ai quali si rimanda incondizionatamente



per quanto riguarda la corretta esecuzione del progetto e la rigorosa osservanza delle indicazioni contenute nella presente relazione.

BADIA PRATAGLIA, lì 17/10/2019

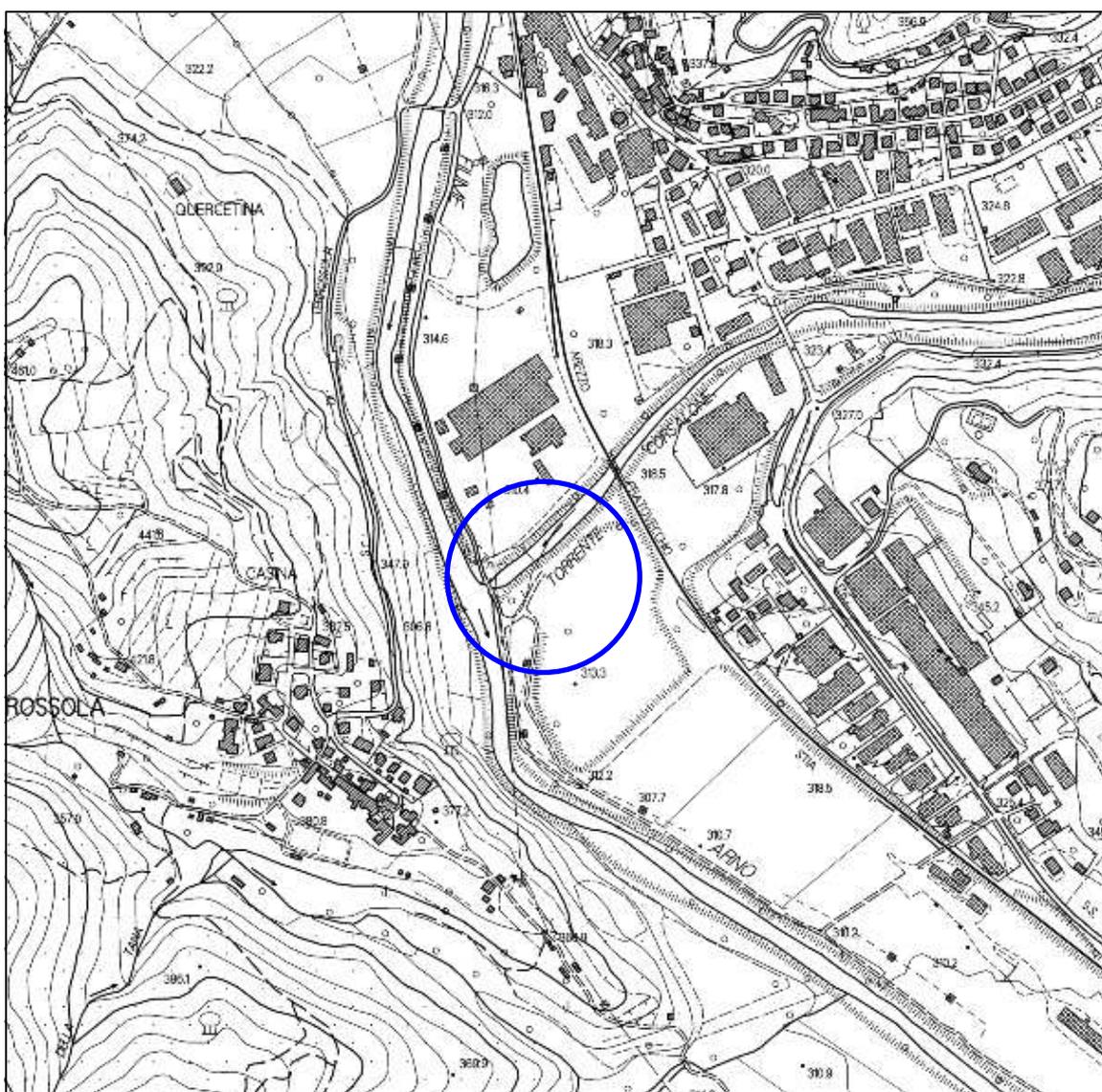
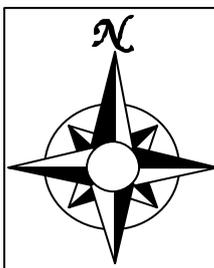
Dott. Geol. LUIGI FARINI  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA  
N° 763

UdCM Casentino Prot 0002808 del 15-02-2021 partenza Cat 6 Cl 7 Fas

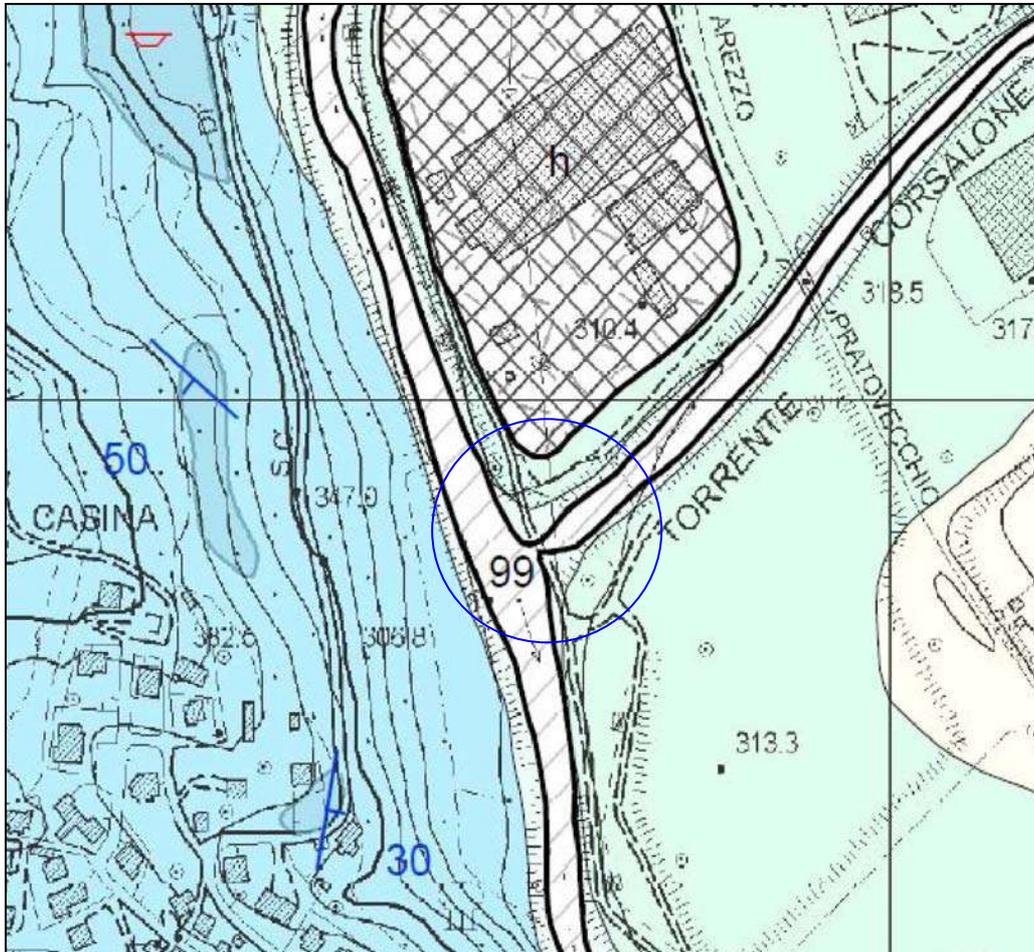
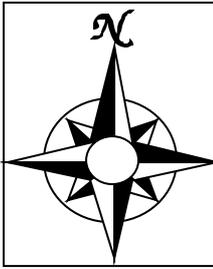


**TAV. 1**  
**INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

SCALA 1 : 10.000



**TAV. 2**  
**CARTA GEOLOGICA**  
**SCALA 1 : 5.000**



**LEGENDA:**



DEPOSITI ANTROPICI



DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI



DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI TERRAZZATI



DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI TERRAZZATI



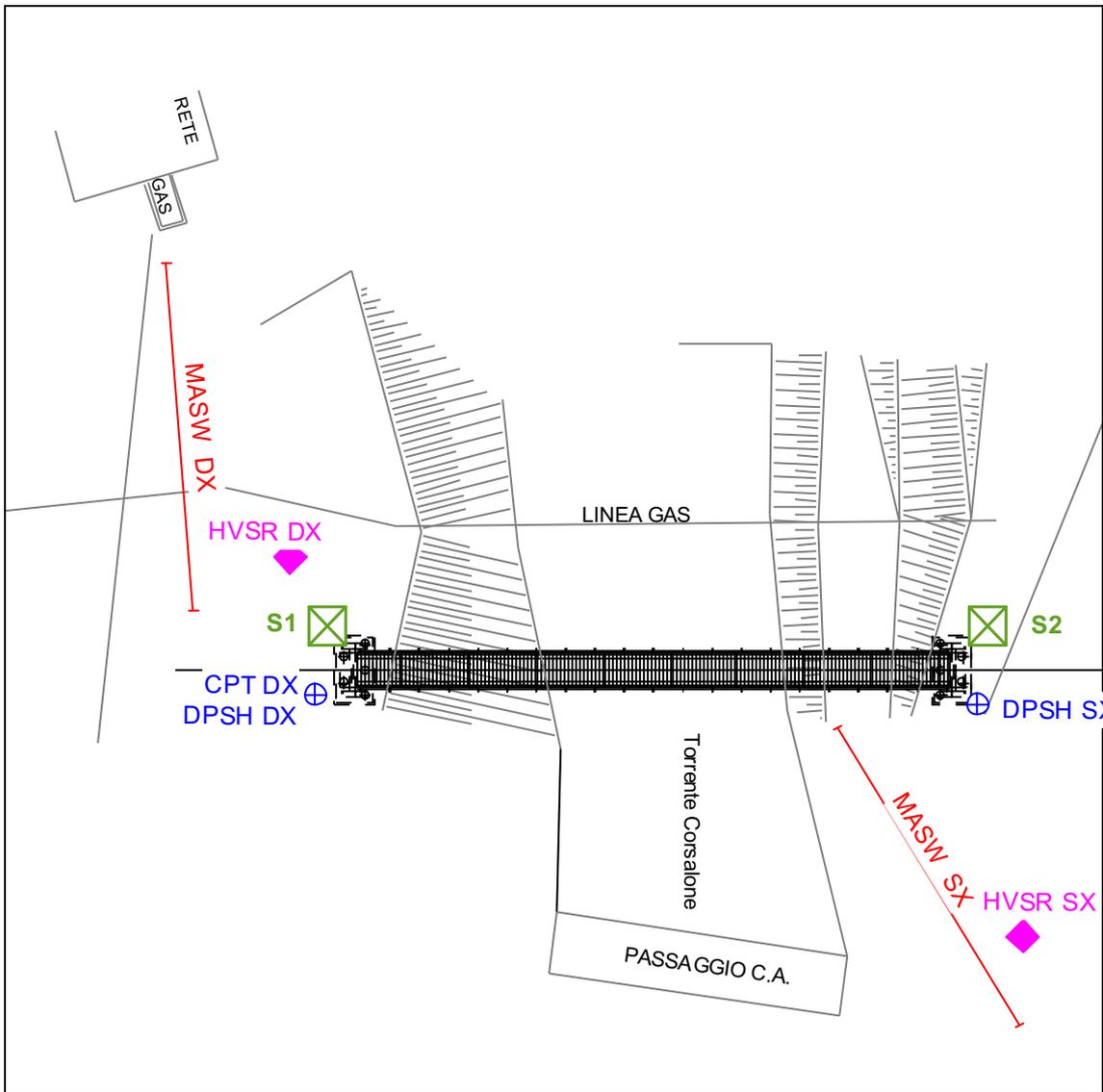
FORMAZIONE DI MONTE MORELLO



GIACITURA DI STRATO



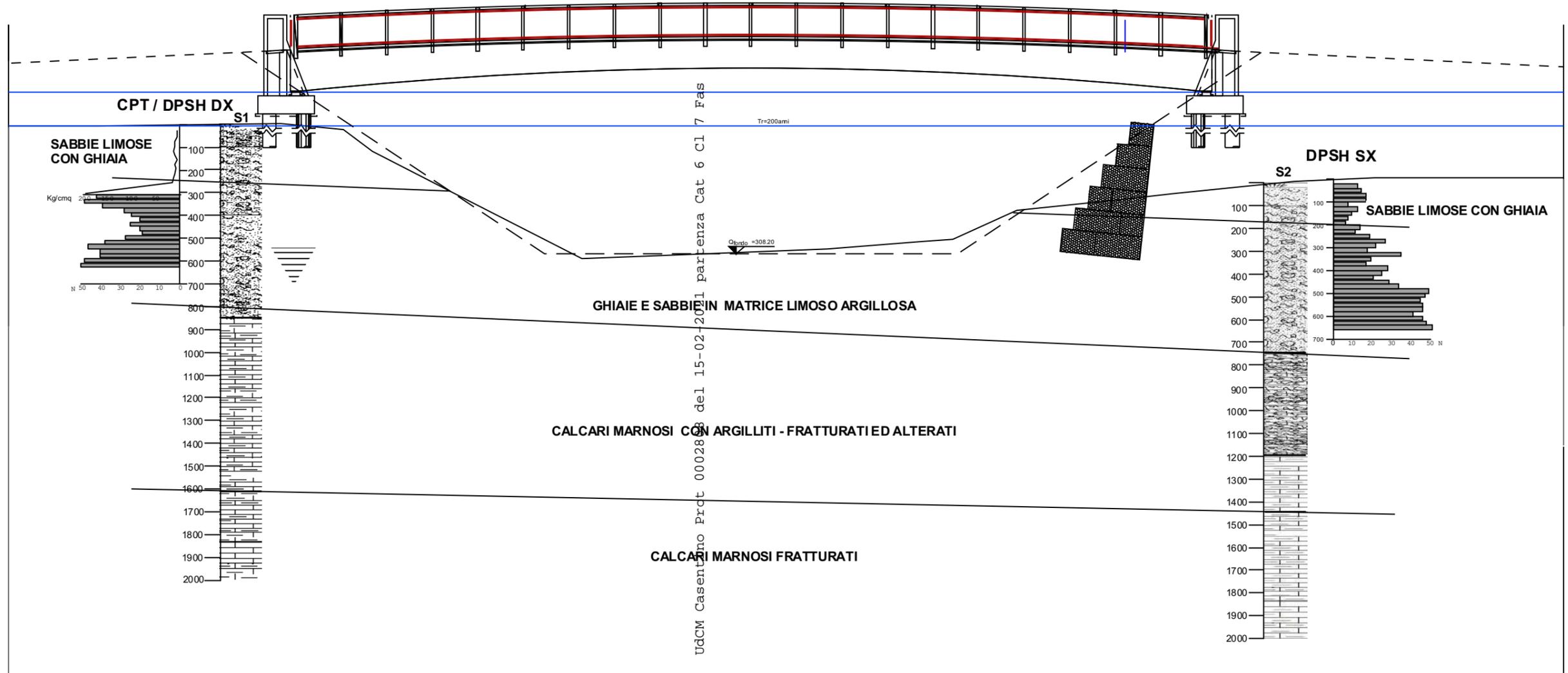
**TAV. 3**  
**PLANIMETRIA INTERVENTO CON**  
**UBICAZIONE INDAGINI**  
 SCALA 1 : 500



- ⊠ S3      Sondaggio a carotaggio continuo
- ⊕ CPT 1      Indagine geotecnica:  
⊕ DPSH 1      prova penetrometrica statica CPT con prosecuzione  
 infissione con metodologia dinamica DPSH
- ↔ MASW      Indagine sismica attiva:  
 Analisi multicanale delle onde superficiali
- ◆ HVSR      Indagine sismica passiva:  
 acquisizione e analisi di rumore  
 sismico ambientale



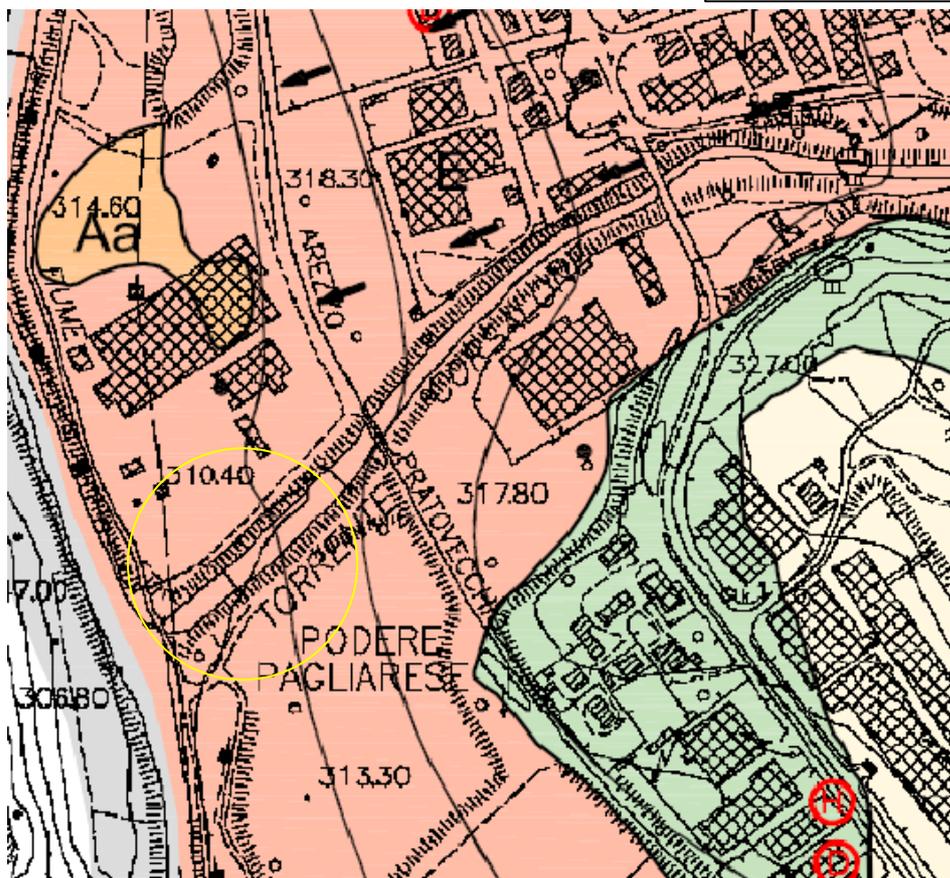
**TAV. 4**  
**SEZIONE GEOTECNICA**  
SCALA: 1:200



NUMERO SEZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
DISTANZE PARZIALI		4.00	4.00	4.00	2.72	1.28	4.00	5.22	2.78	4.00	4.00	4.00	1.51	2.81	4.59	2.34	5.23	3.53	4.00	4.33	
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	4.00	8.00	12.00	14.72	16.00	20.00	25.22	28.00	32.00	36.00	40.00	41.51	44.31	48.90	51.24	56.47	60.00	64.00	68.33	
QUOTE TERRENO	313.78	313.82	313.87	313.91	313.86	312.70	310.89	307.87	308.08	308.20	308.38	308.08	308.82	310.00	310.89	310.83	311.37	311.83	311.82	311.51	
QUOTE PROGETTO				317.20						317.76						317.20					

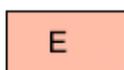


**TAV. 5**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI CHIUSI DELLA VERNA**  
**CARTA IDROGEOLOGICA**



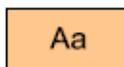
**LEGENDA :**

**VULNERABILITA' ELEVATA**

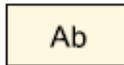


**E** Acquifero libero in materiali alluvionali a granulometria da grossolana a media (alluvioni recenti), senza o con scarsa protezione.

**VULNERABILITA' ALTA**



**Aa** Falde libere in materiali a granulometria eterogenea con scarsa protezione.



**Ab** Falde libere presenti in materiali detritici di modesta continuità areale.

**VULNERABILITA' MEDIA**



**Ma** Sabbie e ciottolami con interposti livelli limosi, generalmente con copertura poco permeabile; arenarie fratturate con rete idrica di solito a media profondità; calcari marnosi e marne interessati da modesta circolazione idrica nella rete delle fratture; arenarie e siltiti quarzose con livelli argillosi intercalati che danno origine a più falde.



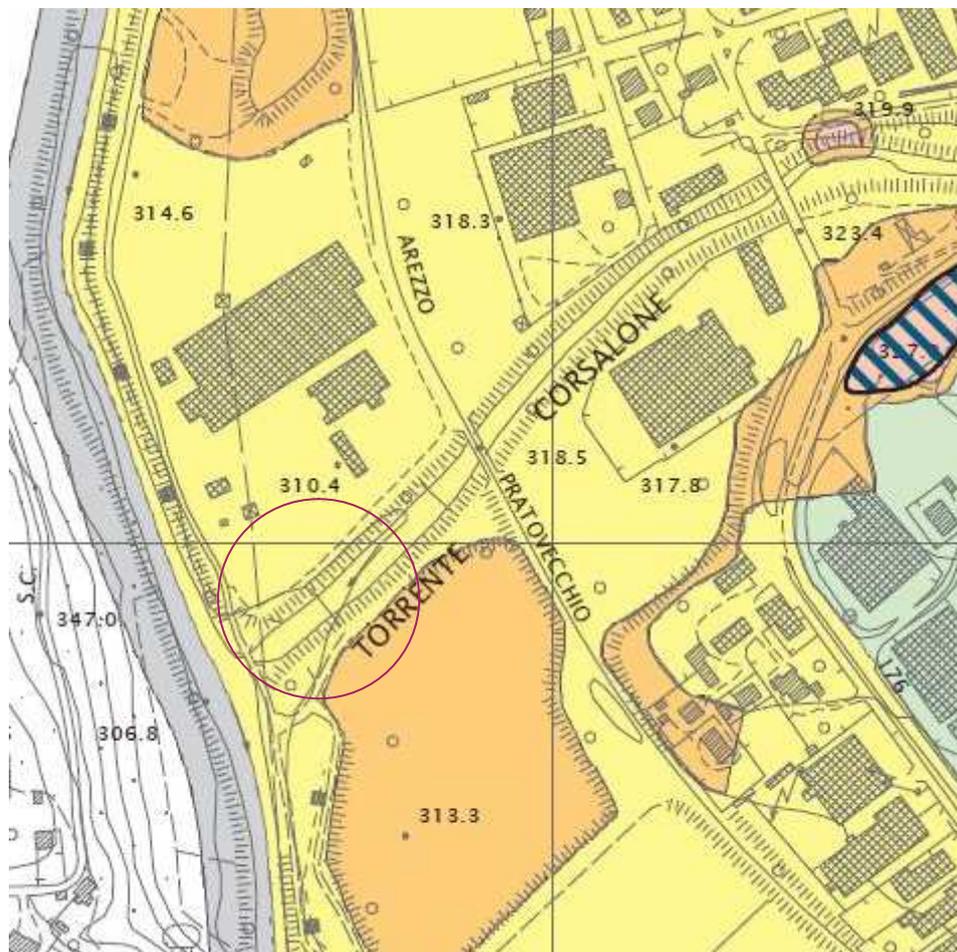
LINEE ISOFREATICHE



DIREZIONE DI FLUSSO



**TAV. 6**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI CHIUSI DELLA VERNA**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA**



**LEGENDA :**

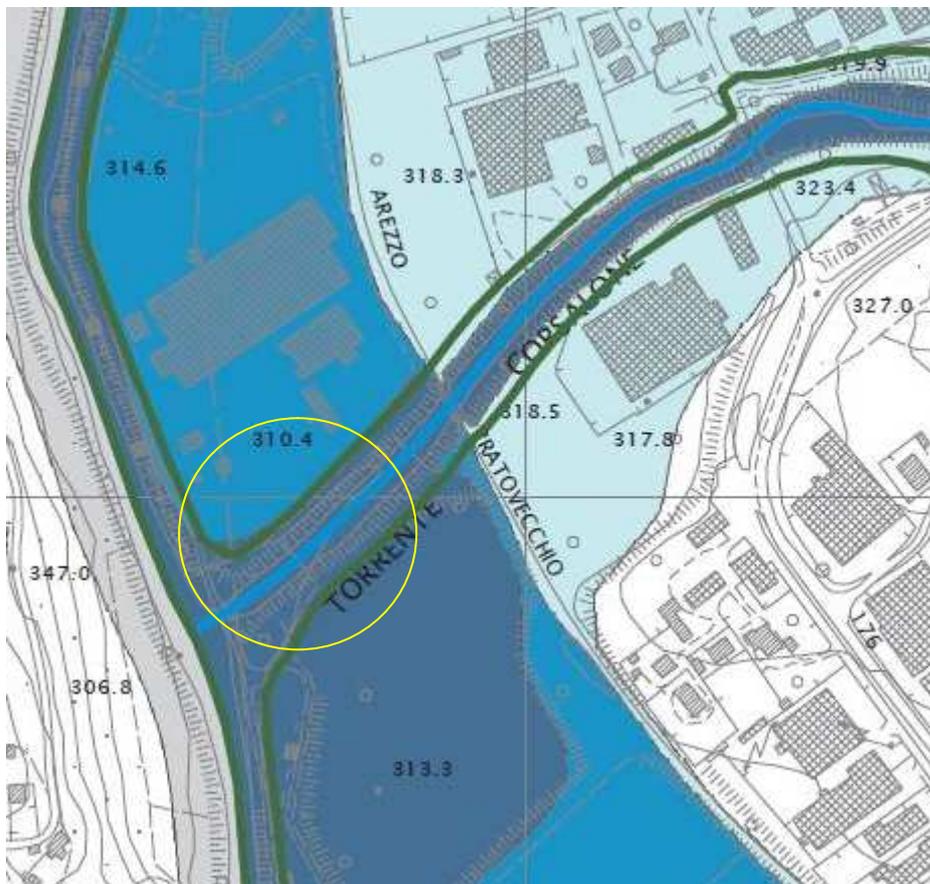
**Pericolosità geologica (D.P.G.R. N.53/R DEL 25 OTTOBRE 2011)**

- Pericolosità geologica molto elevata (G.4): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici attivi e relative aree di influenza e di possibile evoluzione, aree interessate da soliflussi.  
 Corrispondono alle aree P.F.4. (pericolosità molto elevata da frana) del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del Fiume Arno.
- Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici quiescenti e relative aree di influenza; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'accclività, 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.  
 Corrispondono alle aree P.F.3 (pericolosità elevata da frana) del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del Bacino del Fiume Arno.
- Pericolosità geologica media (G.2): aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacitureali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto, subsidenza.
- Pericolosità geologica bassa (G.1): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giacitureali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

**Perimetrazione delle aree a pericolosità da frana - da Piano Assetto Idrogeologico**

- P.F.3 - Aree a pericolosità geomorfologica elevata
- P.F.4 - Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata



**TAV. 7****ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE  
DEL COMUNE DI CHIUDI DELLA VERNA  
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA****LEGENDA :****Pericolosità idraulica molto elevata (I.4)**

Comprende:  
 - le aree censite in P3 (pericolosità elevata) del Piano Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale;

**Pericolosità idraulica elevata (I.3)**

Comprende:  
 - le aree censite in P2 (pericolosità media) del Piano Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale;  
 - le aree collinari e montane con presenza di corpi d'acqua (laghi e/o invasi).

**Pericolosità idraulica media (I.2)**

Comprende:  
 - le aree censite in P1 (pericolosità bassa) del Piano Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale;

**Pericolosità idraulica bassa (I.1)**

 Comprende aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:  
 - non vi sono notizie storiche di inondazioni;  
 - sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda).

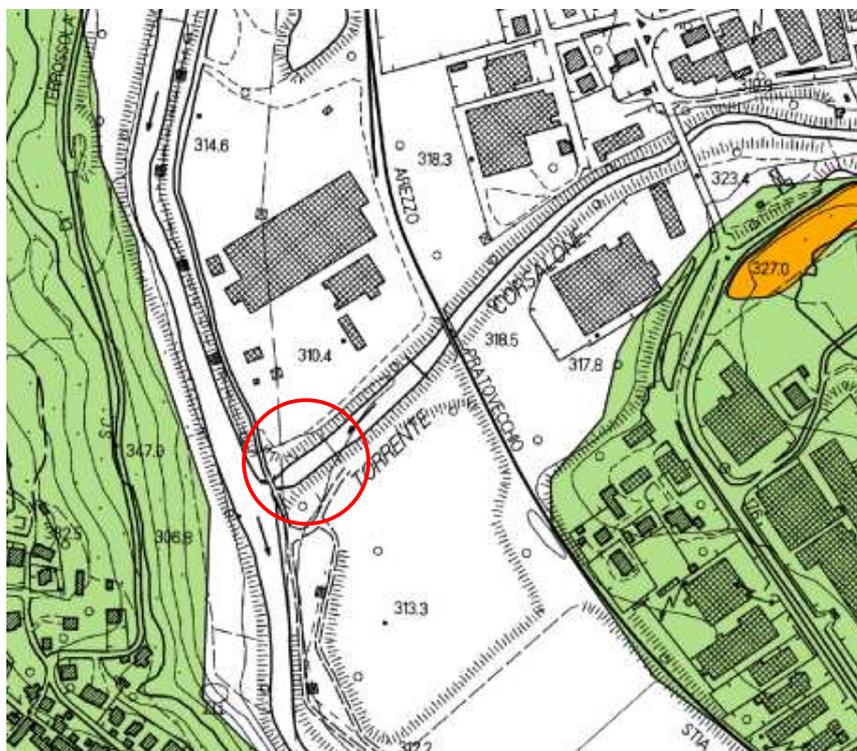
 Indicazione della fascia di larghezza di 10,0 ml dal dal piede esterno dell'argine o, in sua mancanza, dal ciglio di sponda.

- le aree interessate da eventi di esondazione con tempi di ritorno  $200 < TR < 500$  anni;  
 - le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche, in assenza di atti di pianificazione di bacino e di studi idrologici, per cui siano verificate o la posizione morfologicamente sfavorevole (di norma a quote altimetriche inferiori rispetto ai 2 m sopra al piede esterno dell'argine o, in sua assenza, sopra al ciglio di sponda) oppure le notizie storiche di inondazioni.



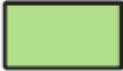
### TAV. 8

#### ESTRATTO DEL P.A.I. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO Perimetrazione aree con pericolosità di frana

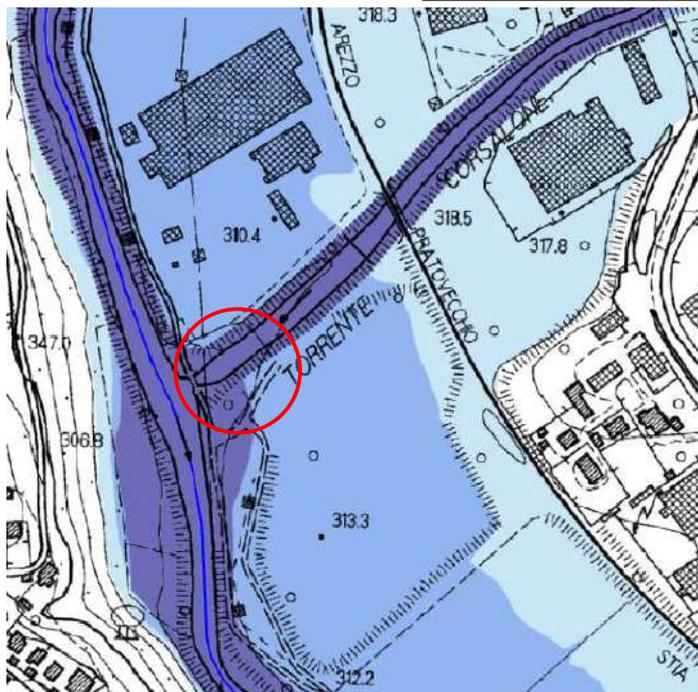


**LEGENDA :**

Livello di sintesi in scala 1:25.000

-  P.F. - NC
-  P.F.1 - Pericolosità moderata
-  P.F.2 - Pericolosità media
-  P.F.3 - Pericolosità elevata

#### ESTRATTO DEL P.G.R.A. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DEL FIUME ARNO Mappa del Rischio di Alluvione



**LEGENDA :**

-  P1 - Pericolosità bassa  
(alluvioni rare e di estrema intensità)
-  P2 - Pericolosità media  
(alluvioni poco frequenti)
-  P3 - Pericolosità elevata  
(alluvioni frequenti)



**TAV. 9****CRITERI PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITA' IN FUNZIONE DEL TIPO DI INTERVENTO EDILIZIO O URBANISTICO E DEL GRADO DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA e SISMICA DELL'AREA**

TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/URBANISTICO	GRADO DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA e SISMICA			
	G.1/S.1	G.2/S.2	G.3/S.3	G.4/S.4
Scavi e rinterri di qualsiasi genere connessi alle opere di cui al presente abaco.	F1	F2	F3	F4
Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, interventi di conservazione e/o ripristino delle caratteristiche tradizionali del manufatto ed altri interventi che non comportino sovraccarichi sulle fondazioni.	F1	F1	F1	F1
Ampliamenti, sopraelevazioni, ed altri interventi che comportino modesti sovraccarichi sulle fondazioni o nuovi modesti carichi.	F2	F2	F2	F3
Consistenti ampliamenti o sopraelevazioni, nuovi edifici, demolizione e ricostruzione ed altri interventi che comportino nuovi cospicui carichi sul terreno o forti sovraccarichi sulle fondazioni.	F2	F2	F3	F4
Ristrutturazione edilizia caratterizzata da intenti di poco superiori alla manutenzione e che non eccedano la possibilità di elevare la linea di gronda degli edifici oltre 50,0 cm per adeguamenti strutturali o funzionali.	F1	F1	F1	F2
Ristrutturazione edilizia caratterizzata da demolizione dei volumi secondari e loro ricostruzione a parità di quantità o in quantità inferiore ancorché in diversa posizione sul lotto di pertinenza.	F2	F2	F3	F4
Ristrutturazione edilizia caratterizzata da addizioni funzionali di nuovi elementi agli organismi edilizi esistenti e limitati interventi per adeguamento alla norma antisismica, a necessità igienico funzionale, volumi tecnici e autorimesse.	F2	F2	F3	F4
Ristrutturazione edilizia caratterizzata da demolizione e ricostruzione degli edifici e/o sostituzione edilizia.	F2	F2	F3	F4
Demolizione senza ricostruzione.	F1	F1	F1	F1
Ristrutturazione urbanistica	F2	F2	F3	F4



**TAV. 10****CRITERI PER L'ATTRIBUZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITA' IN FUNZIONE DEL TIPO DI INTERVENTO EDILIZIO O URBANISTICO E DEL GRADO DI PERICOLOSITA' IDRAULICA DELL'AREA INTERESSATA**

TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/URBANISTICO	GRADO DI PERICOLOSITA' IDRAULICA			
	I.1	I.2	I.3	I.4 (*)
Scavi e rinterri di qualsiasi genere connessi alle opere di cui al presente abaco in assenza di modifica morfologica rispetto allo stato attuale.	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>
Modifiche morfologiche con sottrazione di volumetria alla libera esondazione delle acque in caso di esondazione.	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F4</b>	<b>F4</b>
Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, interventi di conservazione e/o ripristino delle caratteristiche tradizionali del manufatto ed altri interventi che non comportino realizzazione di nuova superficie a livelli di piano campagna	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>
Ampliamenti in sopraelevazione, ed altri interventi che non comportino realizzazione di nuova superficie a livelli di piano campagna e aumento di carico urbanistico.	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>
Ampliamenti che comportino realizzazione di nuova superficie a livello di piano campagna o sopraelevazioni con aumento di carico urbanistico, nuovi edifici, demolizione e ricostruzione.	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F4</b>	<b>F4</b>
Ristrutturazione edilizia caratterizzata da intenti di poco superiori alla manutenzione e che non eccedano la possibilità di elevare la linea di gronda degli edifici oltre 50,0 cm per adeguamenti strutturali o funzionali.	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>	<b>F1</b>
Ristrutturazione edilizia caratterizzata da demolizione dei volumi secondari e loro ricostruzione a parità di quantità o in quantità inferiore ancorché in diversa posizione sul lotto di pertinenza.	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F4</b>	<b>F4</b>

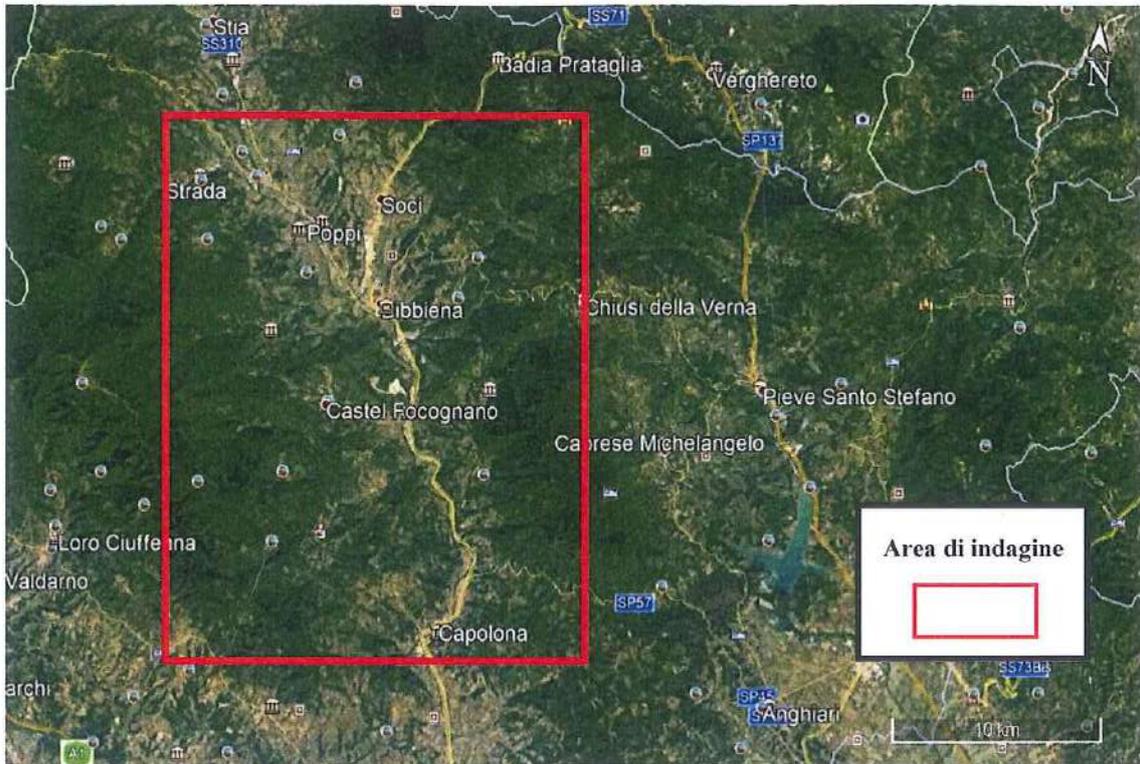


INDAGINI GEOGNOSTICHE:

STRATIGRAFIA SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE E DINAMICHE





Lavoro:

## LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Commessa N°:  082S-2019	Elaborato:  <b>RAPPORTO TECNICO</b>	
Rev:  1.1	<b>UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO</b>	
Redazione: Verifica:		
Approvazione: Consegnato:		
Ns. Rif:	Timbro: <b>CAM PERFORAZIONI S.r.l.</b> Unipersonale Viale Vanzolini 38 61121 PESARO (PU) Cod. Fisc. e P. IVA 01511320432	Firma:

Proprietà riservata. Riproduzione anche parziale consentita solo previa autorizzazione scritta



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:  
RAPPORTO TECNICO

Committente:  
UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 2 di 17

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROVE PENETROMETRICHE.....</b>	<b>7</b>
2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH .....	7
2.1.1 CORRELAZIONE $N_{SPT}$ .....	8
2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA .....	8
2.1.3 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE .....	9
2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI .....	9
2.1.5 RESTITUZIONE DATI .....	10
2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT.....	10
2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE.....	11
2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI .....	12
2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (AUTORI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI):.....	12
<b>3 SONDAGGIO GEOTECNICO .....</b>	<b>13</b>
3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO .....	14
3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE .....	15
3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO .....	15
3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST) .....	15

## APPENDICE

- Tavola 1: Ubicazione indagini (loc. Archiano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Archiano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Archiano)
  
- Tavola 2: Ubicazione indagini (loc. Corsalone)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Corsalone)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Corsalone)
  
- Tavola 3: Ubicazione indagini (loc. Solano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Solano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Solano)
  
- Tavola 4: Ubicazione indagini (loc. Burlazzo)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Burlazzo)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Burlazzo)

## 1. PREMESSA

Il presente Rapporto Tecnico illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche eseguita su incarico della committenza UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO in varie località situate lungo il tratto del fiume Arno Casentino.

La campagna di indagine è stata svolta secondo il seguente programma:

- Esecuzione di **n° 8** prove penetrometriche dinamiche "DPSH" e statiche "CPT", come indicato nella tabella seguente:

Località	Profondità (m)	Data
ARCHIANO DX	5,40(DPSH)	28/08/2019
ARCHIANO SX	6,60(DPSH)	28/08/2019
CORSALONE DX	2,80(CPT)/6,20(DPSH)	27/08/2019
CORSALONE SX	6,60(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO DX	3,00(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO SX	3,20(DPSH)	27/08/2019
SOLANO DX	2,80(DPSH)	26/08/2019
SOLANO SX	1,80(DPSH)	26/08/2019

Tab.1 – Elenco delle prove penetrometriche

- Esecuzione di **n° 8** sondaggi a carotaggio secondo la seguente tabella:

Sondaggio n.	Località	Profondità (m)	Data
S1 (DX)	Archiano	20.00	27-28/08/2019
S2 (SX)		20.00	06-07/08/2019
S1 (DX)	Corsalone	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	31/08 - 03/09 /2019
S1 (DX)	Burlazzo	20.00	28-29/08/2019-
S2 (SX)		20.00	02-03/09/2019
S1 (DX)	Solano	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	29/08/2019

Tab.2 – Elenco sondaggi geognostici

- esecuzione di **n°25** prove SPT in foro, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Prova	Prof. (m)	n° colpi	Punta Chiusa/ Punta Aperta
S1 Archiano DX	SPT1	3.00-3.35	22-38-R(5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.25	28-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.40	24-43-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.25	18-R (10cm)	Punta Chiusa
S2 Archiano SX	SPT1	4.00-4.20	17-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	24-35-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.80-10.00	39-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	13.00-13.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Corsalone DX	SPT1	3.00-3.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.04	R (4cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.19	42-R (4cm)	Punta Chiusa
S2 Corsalone SX	SPT1	3.00-3.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Burlazzo DX	SPT1	3.00-3.20	46-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.10	R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	12.00-12.20	36-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Burlazzo SX	SPT1	3.00-3.45	15-18-32	Punta Aperta
	SPT2	6.15-6.55	18-42-R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Solano DX	SPT1	4.00-4.20	41-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	22-38-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Solano SX	SPT1	3.00-3.45	10-13-15	Punta Aperta
	SPT2	6.00-6.35	27-42-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.28	40-R (13cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa

Tab.3 – Elenco prove SPT eseguite.

- prelievo di n°46 campioni rimaneggiati, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Campione n.	Prof. (m)	data
<b>S1 Archiano DX</b>	CRSPT1	3.00-3.35	27/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.25	27/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.40	27/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.25	27/08/2019
	CR1	15.40-15.90	28/08/2019
	CR2	19.00-19.50	28/08/2019
<b>S2 Archiano SX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	06/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	06/08/2019
	CRSPT3	9.80-10.00	06/08/2019
	CRSPT4	13.00-13.10	06/08/2019
	CR1	16.50-16.70	07/08/2019
<b>S1 Corsalone DX</b>	CRSPT1	3.00-3.05	30/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.04	30/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.05	30/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.19	30/08/2019
	CR1	17.60-18.00	31/08/2019
	CR2	19.50-20.00	31/08/2019
<b>S2 Corsalone SX</b>	CRSPT1	3.00-3.40	31/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.10	31/08/2019
	CR1	9.50-9.80	31/08/2019
	CR2	14.40-14.80	03/09/2019
	CR3	16.00-16.40	03/09/2019
<b>S1 Burlazzo DX</b>	CRSPT1	3.00-3.20	28/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.10	28/08/2019
	CR1	8.60-8.80	28/08/2019
	CRSPT3	12.00-12.20	29/08/2019
	CR2	15.60-16.00	29/08/2019
	CR3	17.60-18.00	29/08/2019
<b>S1 Burlazzo SX</b>	CRSPT1	3.00-3.45	02/09/2019
	CRSPT2	6.15-6.55	02/09/2019
	CR1	9.50-10.00	03/09/2019
	CR2	14.00-14.30	03/09/2019
	CR3	15.70-16.00	03/09/2019
	CR4	19.70-20.00	03/09/2019
<b>S1 Solano DX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	30/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	30/08/2019
	CR1	10.70-11.00	30/08/2019
	CR2	15.00-15.40	30/08/2019
	CR3	17.40-17.80	31/08/2019
	CR4	19.50-20.00	31/08/2019

<b>S2 Solano SX</b>	<b>CRSPT1</b>	3.00-3.45	29/08/2019
	<b>CRSPT2</b>	6.00-6.35	29/08/2019
	<b>CRSPT3</b>	9.00-9.28	29/08/2019
	<b>CRSPT4</b>	12.00-12.40	29/08/2019
	<b>CR1</b>	15.30-15.70	29/08/2019
	<b>CR2</b>	17.00-17.50	29/08/2019

Tab.4 – Elenco campioni rimaneggiati.

Le carote di terreno prelevate durante l'esecuzione dei sondaggi sono state riposte in apposite cassette catalogatrici a scomparti, delle quali è stato redatto un rapporto stratigrafico e fotografico, riportato in appendice.

Negli allegati che seguiranno sono inoltre riportate le restituzioni numeriche e grafiche delle prove in sito eseguite.

## 2. PROVE PENETROMETRICHE

### 2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento per tratti consecutivi di lunghezza standard.

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

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consentono di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una parametrizzazione per la caratterizzazione stratigrafica.

Tale parametrizzazione, ricavata da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattata con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche del presente rapporto, è stato utilizzato un penetrometro "PAGANI" TG 63- 200 kN, con le seguenti caratteristiche:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75m
Peso sistema di battuta	0,63Kg
Diametro punta conica	51,00mm
Area di base punta	20,43cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	90°
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	6,31Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40m
Avanzamento punta	0,20m
Numero colpi per punta	N <sub>(20)</sub>
Coeff. Correlazione	1,472
Rivestimento/fanghi	No

### 2.1.1 CORRELAZIONE N<sub>spt</sub>

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<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>.

Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> 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.
- d passo di avanzamento.

### 2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA

*Formula Olandesi*

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

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

### 2.1.3 METOLOGIA DI ELABORAZIONE

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

### 2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI

#### • **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato).

#### • **Pressione ammissibile**

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

### 2.1.5 RESTITUZIONE DATI

La restituzione dei dati di campagna, contempla una prima tabella con indicati la profondità, il numero dei colpi per l'avanzamento caratteristico di 20 cm, il coefficiente di riduzione caratteristico e le relative resistenze dinamiche. Alla tabella numerica segue una parametrizzazione indicativa determinata sulla base di una suddivisione in strati omogenei per numero di colpi sui quali vengono determinati i principali parametri geotecnici.

### 2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

La prova penetrometrica statica viene realizzata infiggendo nel terreno la speciale punta "Begemann" avente le seguenti caratteristiche geometriche:

DIAMETRO DELLA PUNTA	35.7 m
ANGOLO DI APERTURA DEL CONO	60°
AREA DI BASE DEL CONO	10 cm <sup>2</sup>
DIAMETRO DEL MANICOTTO D'ATTRITO	36 mm
SUPERFICIE LATERALE MANICOTTO	150 cm <sup>2</sup>

Detta punta penetra mediante una pressione del gruppo di spinta idraulica del penetrometro, alla velocità standardizzata di 2 cm/sec, ed è raccordata mediante una filettatura conica ad una serie di aste  $\Phi=36 \times 1000$  mm, che alloggiato al loro interno una serie di astine  $\Phi=15$  mm.

Tramite l'utilizzo di un selettore composto da una cella di carico e da una centralina elettronica digitale, si acquisiscono i valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta ( $Q_c$ ) e allo scorrimento contemporaneo del manicotto di frizione e del corpo punta (sforzo totale  $Q_t$ ).

La cella di carico è dotata di un trasduttore estensimetrico in grado di convertire lo sforzo di spinta in un segnale elettrico, che opportunamente condizionato e amplificato, viene visualizzato sul display digitale della centralina di acquisizione sopra menzionata.



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:

RAPPORTO TECNICO

Committente:

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 11 di 17

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta

Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto

Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

## 2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP** ) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico, che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$A_p$  = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann" ) = 10 cm<sup>2</sup>

$A_m$  = area del manicotto di frizione = 150 cm<sup>2</sup>

$C_t$  = costante di trasformazione = 10

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza alla punta**

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza laterale**

$Q_c (RP)$  = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Superficie Punta  $A_p$

$Q_l (RL) (fs)$  = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct /  $A_m$  area del manicotto di frizione.

La resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto alla quota della prima lettura della punta.

**N.B.**

$$A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

## 2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI

- **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato.

- **Correlazioni**

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

## 2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento utilizzati):

Begemann 1965 (consigliato per CPT)

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 13 di 17

### 3 SONDAGGIO GEOTECNICO

Il sondaggio geotecnico a "carotaggio continuo" consiste nella perforazione a rotazione in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità ed osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

### 3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione CMV MK 600D carrocingolata, aventi le seguenti caratteristiche:

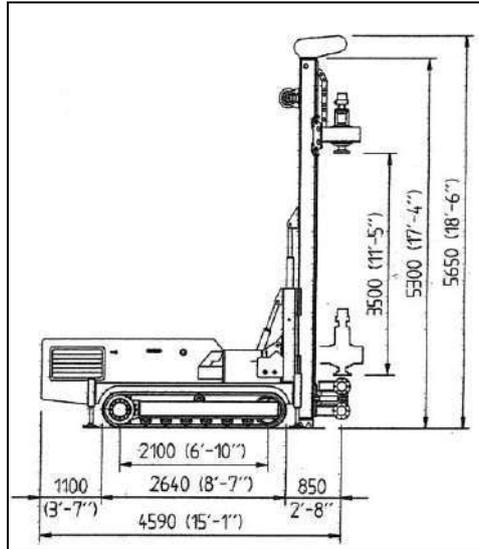


Fig.1 – Sonda perforatrice tipo "CMV MK 420 F"

<b>SOTTOCARRO</b>	type	BERCO		
Lunghezza	mm	2540	(8'-7")	
Larghezza	mm	1800	(5'-10")	
Pattini	mm	300	(11")	
Rulli	no.	6		
Stabilizzatori	no.	4		
<b>MOTORE DIESEL</b>	type	Deutz F4L 912		
Potenza	Sbp	75		
Insonorizzazione	dB	70		
Serbatoio carburante	lt	90	(gal. 23)	
Serbatoio olio idraulico	lt	290	(gal. 76)	
<b>MAST</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Lunghezza	mm	5300 (17)	3800 (12')	2100 (7')
Corso tavola rotary	mm	3500 (11')	2200 (7')	1150 (4')
Spinta sull'anelle	kg	1500	(lb. 3307)	
Forza di estrazione	kg	2500	(lb. 5512)	
Traslazione verticale	mm	700	(2'-3")	
<b>MORSE</b>				
Morsa di bloccaggio dia.	mm	60/220	(2'-9")	
Morsa sviatrico dia.	mm	60/220	(2'-9")	
<b>ARGANO</b>				
Capacità tamburo	m	65	(213')	
<b>TAVOLA ROTARY</b>				
Coppia	kgm	100 - 600	(lb.ft 723 - 4340)	
Velocità Min. - Max.	rpm	342 - 32		
Passaggio testa di adduzione	inch	2"		
Hydraulic	mm	450	(18")	
<b>PESO TOTALE</b>	kg	9000	(lb. 19845)	
<b>APPLICAZIONI</b>				
Top hammer (drifter)	type	Knupp HB 20A		
Colpi al minuto	min-1	2800		
<b>Jet Grouting</b>				
Profondità max.	m	11	(36')	
Diametro aste	mm	60-76	(2'-3")	
Timer	type	Digital		
<b>ACCESSORI</b>				
Lubrificazione di linea	lt	17	(gal 5)	
Pompa acqua	l/min - bar	120 - 20	(gal 31 - 290 psi)	
Pompa schiumogeni	l/min - bar	30-30	(gal 15 - 435 psi)	
Pompa scartabiatrice	l/min - bar	15-150	(gal 4 - 2175 psi)	

Fig.2 - tabella caratteristiche tecniche sonda perforatrice tipo "CMV MK 600F"



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:  
RAPPORTO TECNICO

Committente:  
UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 15 di 17

### 3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

Le perforazioni sono state eseguite a rotazione a "carotaggio continuo", utilizzando in funzione dei terreni da campionare carotieri di tipo semplice e carotieri T6S con corone al widia. Il preforo è stato rivestito con tubazione provvisoria Ø 127mm.

Il tipo di utensile adottato per ogni sondaggio è stato specificato nelle stratigrafie allegate.

## 3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO

### 3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST)

Le prove di resistenza alla penetrazione "SPT" sono state eseguite secondo le modalità indicate dalle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana" del 1977.

Tali prove si eseguono preferibilmente in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia si possono eseguire in qualsiasi terreno sciolto e su alcune rocce tenere allo scopo di determinare grado di addensamento / consistenza / resistenza.

Si riassumono brevemente le caratteristiche tecniche della prova "SPT":

#### Campionatore:

- Raymond di diametro esterno 51 mm, diametro interno 35 mm, lunghezza minima 457 mm, con scarpa standard a punta aperta come utensile di penetrazione
- punta conica chiusa di diametro esterno 51 mm e angolo di 60°

Aste collegate al campionatore di diametro esterno 50 mm e peso di 7.5 kg al metro lineare

Dispositivo di battuta avente peso non superiore a 115 Kg, comprende:

- testa di battuta in acciaio avvitata all'estremità della batteria di aste
- massa battente o maglio di 63.5 kg
- dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che assicura una corsa a caduta libera di 76 cm.

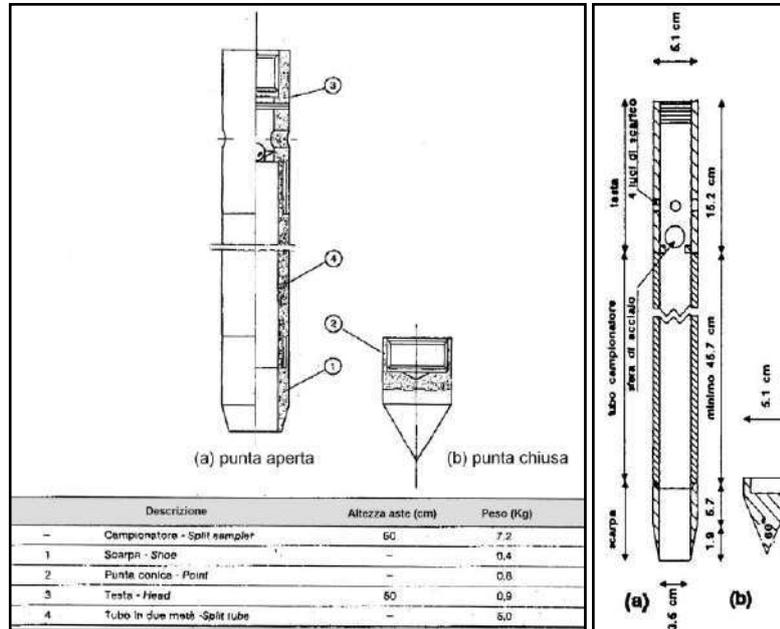


Fig.3 – Campionatore a punta aperta (a) - a punta chiusa (b).

Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la pulizia del foro (tolleranza di +/- 7 cm); la prova consiste nel fare penetrare il campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1, N2, N3).

Con il primo tratto detto avviamento si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con N1 = 100 ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi (N2+N3) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto è:

$$N_{spt} = N2 + N3$$

che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.

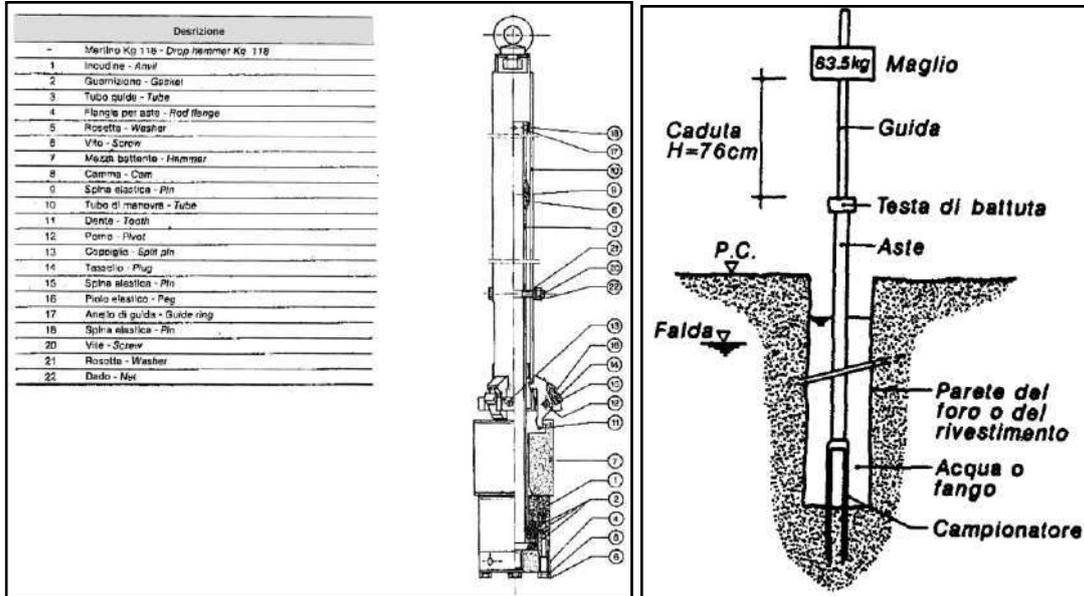
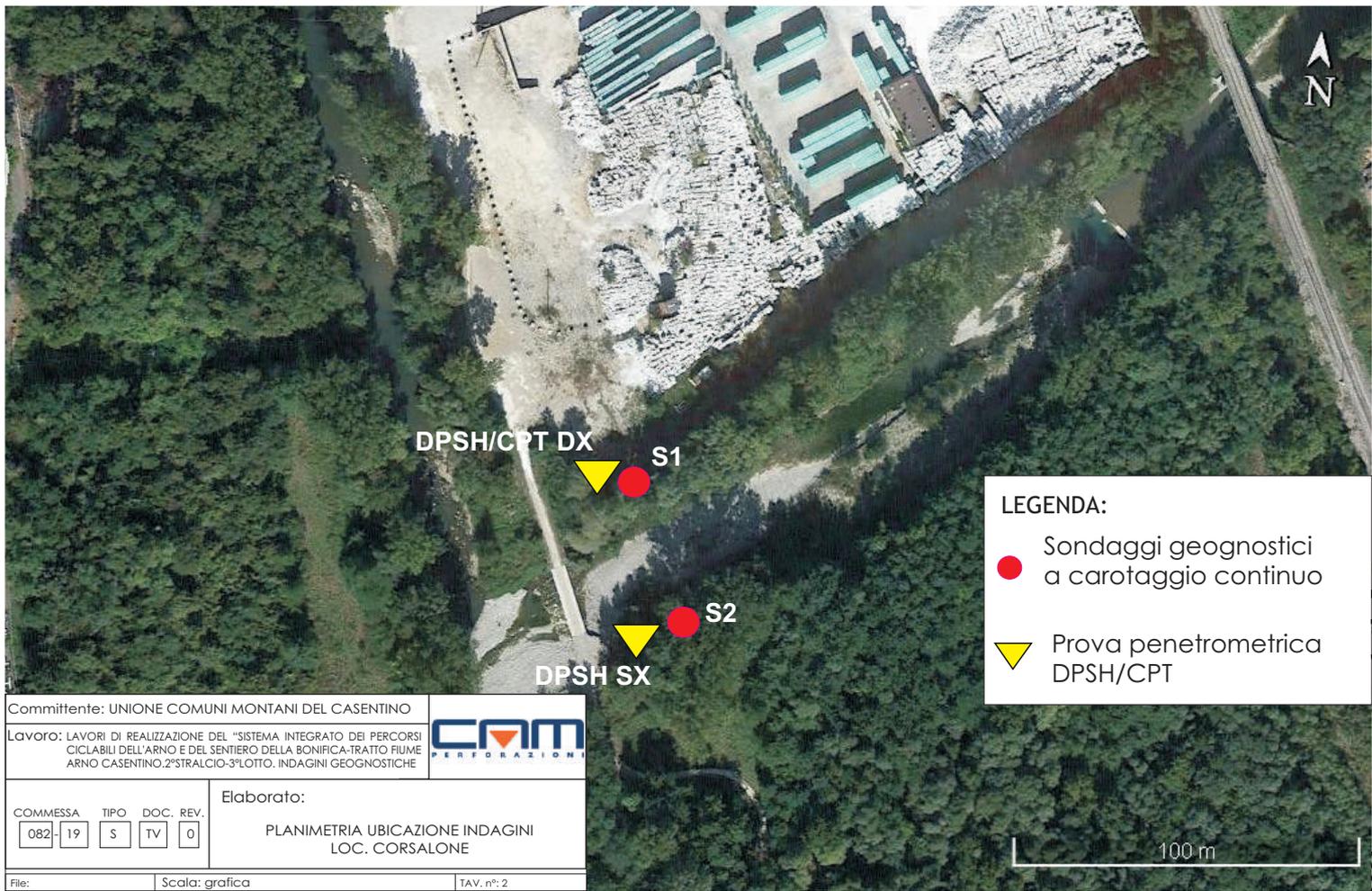


Fig.4- Penetrometro dinamico SPT.

Falconara Marittima, Agosto 2019

Dott. Geol. Paolo Spallacci

**APPENDICE**





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S1 ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA CMV MK 600F
Cantiere	CORSALONE DX	Rivestimento	127 mm	Il geologo
Data Inizio	30/08/2019	Data Fine	31/08/2019	Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD		
1	0.15	0.15		Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso color marrone con apparati radicali e resti vegetali.	Semplice (101mm)	18.00					
2	1.00	0.85		Sabbie limose a granulometria medio-fine da scarsamente addensate a sciolte color marrone-chiaro con all'interno ghiaia centimetrica eteromorfa sub-arrotondata.							
3		3.00		Ghiaie con clasti sub-arrotondati, poligenici ed eteromorfi in abbondante matrice sabbiosa-limosa color marrone. Da metri 1.00 a metri 1.50 e a metri 2.70 trovanti calcarei centimetrici					3.00 R 5cm(P.C) CRSPT1 3.05	3.00 3.05	
4	4.00										
5	5.00	1.00		Sabbie limose color marrone a granulometria medio-fine da sciolte a scarsamente addensate con tracce di stratificazione piano parallela con livelli millimetrici organici nerastri e livelli millimetrici alterari di color ocraceo.							
6		3.50		Ghiaie sub-arrotondate, poligeniche (prevalentemente di natura calcareo, calcareo-marnosa) ed eteromorfe di dimensioni centimetri che in abbondante matrice sabbioso-limosa color marrone. Frequentemente si rinvengono litoidi centimetrici calcarei.					6.00 R 4cm(P.C) CRSPT2 6.04	6.00 6.04	
7											
8											
9	8.50										
10				Calcarei, calcarei marnosi color grigiastro molto fratturati con locali patine di ossidazione color ocraceo sui giunti di frattura. Localmente si presentano alterati a causa della lavorazione di campionamento. Materiale molto fratturato fino a metri 18.00 poi meno fratturato.					9.00 5cm(P.C) CRSPT3 9.05	9.00 9.05	
11											
12											
13											
14		11.50									
15											
16											
17				A metri 16.50 e 16.70 fratture inclinate di circa 40-45°							
18										17.60 CR1 18.00	20%
19											40%
20	20.00									19.50 CR2 20.00	60%

Sondaggio n° **S1 CORSALONE DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S1 CORSALONE DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



## PROVA CPT Corsalone Dx

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 28/08/2019

Profondità prova: 6,20 mt

Località: Arno Casentino

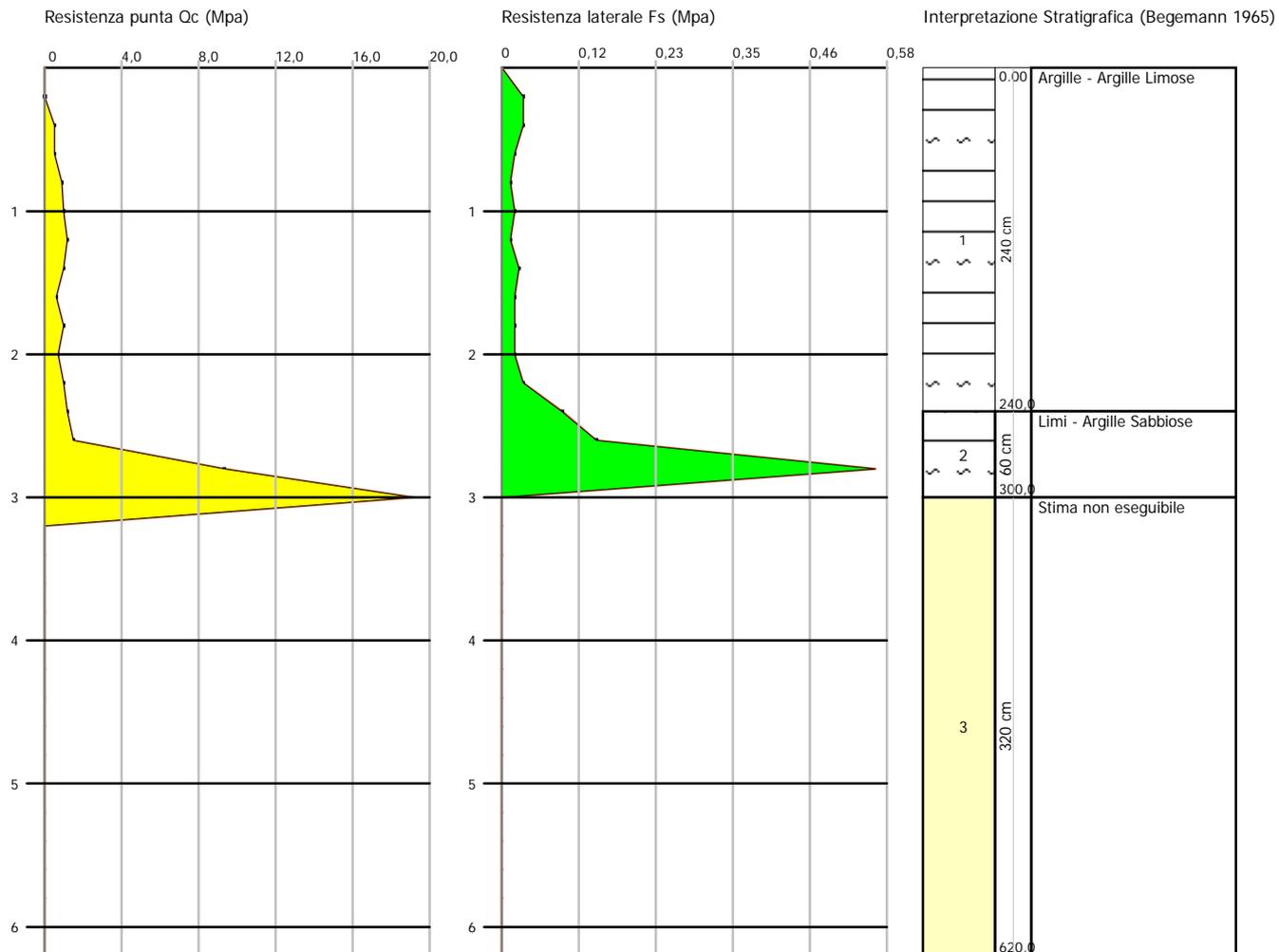
Profondità (m)	Letture punta (Mpa)	Letture laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	0,032689	0,0	
0,40	0,49	1,0	0,490333	0,032689	15,0	6,7
0,60	0,49	1,0	0,490333	0,019613	25,0	4,0
0,80	0,88	1,2	0,882599	0,013076	67,498	1,5
1,00	0,98	1,2	0,980665	0,019613	50,001	2,0
1,20	1,18	1,5	1,176798	0,013076	89,997	1,1
1,40	0,98	1,2	0,980665	0,026151	37,5	2,7
1,60	0,59	1,0	0,588399	0,019613	30,0	3,3
1,80	0,98	1,3	0,980665	0,019613	50,001	2,0
2,00	0,69	1,0	0,686466	0,019613	35,001	2,9
2,20	0,98	1,3	0,980665	0,032689	30,0	3,3
2,40	1,18	1,7	1,176798	0,091529	12,857	7,8
2,60	1,47	2,8	1,470998	0,143831	10,227	9,8
2,80	9,32	11,5	9,316318	0,568786	16,379	6,1
3,00	19,12	27,7	19,122968	0,0		0,0
3,20	0,00	0,0	0,0	0,0		
3,40	0,00	0,0	0,0	0,0		
3,60	0,00	0,0	0,0	0,0		
3,80	0,00	0,0	0,0	0,0		
4,00	0,00	0,0	0,0	0,0		
4,20	0,00	0,0	0,0	0,0		
4,40	0,00	0,0	0,0	0,0		
4,60	0,00	0,0	0,0	0,0		
4,80	0,00	0,0	0,0	0,0		
5,00	0,00	0,0	0,0	0,0		
5,20	0,00	0,0	0,0	0,0		
5,40	0,00	0,0	0,0	0,0		
5,60	0,00	0,0	0,0	0,0		
5,80	0,00	0,0	0,0	0,0		
6,00	0,00	0,0	0,0	0,0		
6,20	0,00	0,0	0,0	0,0		

Prof. Strato (m)	qc Media (Mpa)	fs Media (Mpa)	Gamma Medio (KN/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
2,40	0,784532	0,02833	17,7	Coesivo	Argille - Argille Limose
3,00	9,970098	0,237539	21,6	Incoerente-Coesivo	Limi - Argille Sabbiose
6,20	0,0	0,0	23,5		Stima non eseguibile

**Probe CPT - Cone Penetration CPT Corsalone Dx**  
**Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Cantiere: Corsalone  
 Località: Arno Casentino

Data: 28/08/2019



**PROVA DPSH Corsalone Dx**

Strumento utilizzato      DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data    28/08/2019  
 Profondità prova          6,20 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0	0,851	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0	0,847	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80	0	0,843	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	0	0,840	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20	0	0,836	0,00	0,00	0,00	0,00
1,40	0	0,833	0,00	0,00	0,00	0,00
1,60	0	0,830	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80	0	0,826	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0	0,823	0,00	0,00	0,00	0,00
2,20	0	0,820	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40	0	0,817	0,00	0,00	0,00	0,00
2,60	0	0,814	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80	0	0,811	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	38	0,659	20,33	30,86	1016,40	1543,10
3,20	42	0,606	20,67	34,11	1033,55	1705,53
3,40	48	0,603	23,52	38,98	1176,14	1949,17
3,60	39	0,601	17,78	29,59	888,85	1479,26
3,80	28	0,698	14,83	21,24	741,74	1062,03
4,00	24	0,696	12,67	18,21	633,60	910,31
4,20	20	0,744	11,28	15,17	564,16	758,59
4,40	25	0,691	13,11	18,96	655,65	948,24
4,60	20	0,739	10,52	14,23	526,09	711,66
4,80	19	0,737	9,97	13,52	498,34	676,08
5,00	27	0,685	13,16	19,21	658,13	960,74
5,20	38	0,633	17,12	27,04	855,92	1352,16
5,40	46	0,581	19,02	32,74	951,06	1636,82
5,60	40	0,579	15,53	26,81	776,27	1340,39
5,80	40	0,577	15,48	26,81	773,78	1340,39
6,00	48	0,575	18,51	32,17	925,64	1608,47
6,20	>50					

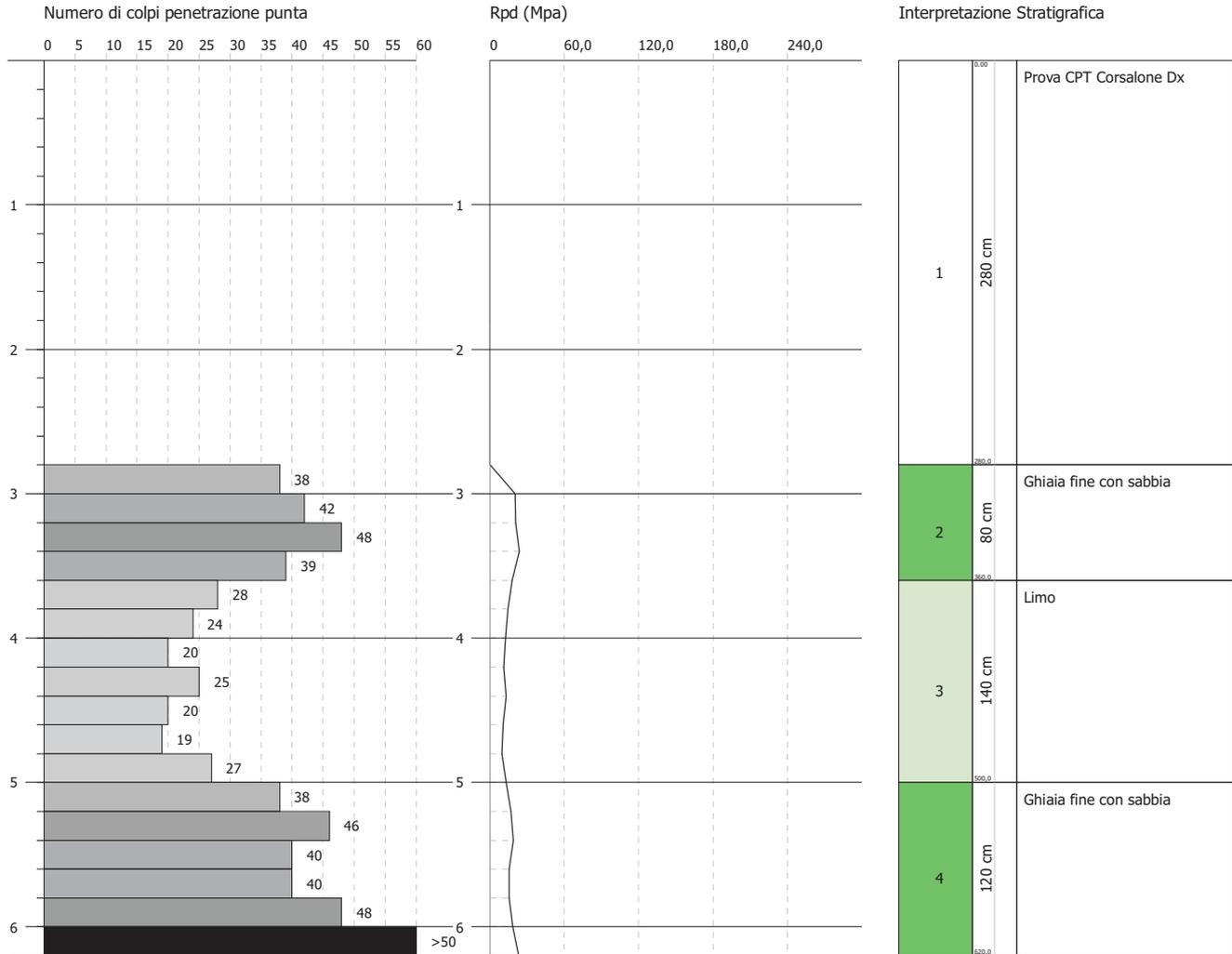
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2,8	0	0	Coesivo	1,47	0	Prova CPT Corsalone Dx
3,6	41,75	33,39	Incoerente	1,47	61,46	Ghiaia fine con sabbia
5	23,29	17,22	Incoerente	1,47	34,28	Limo
6,2	45,33	30,96	Incoerente	1,47	66,73	Ghiaia fine con sabbia

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Corsalone Dx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Corsalone Dx  
 Località: Arno Casentino

Data: 28/08/2019

Scala 1:50



UdCM Casentino Prot 0002808 del 15-02-2021 partenza Cat 6 Cl 7 Fas



Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S2	ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA	CMV MK 600F
Cantiere	CORSALONE SX	Rivestimento	127 mm	Il geologo	
Data Inizio	31/08/2019	Data Fine	03/09/2019	Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone	

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD
1	0.15	0.15		Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso color marrone con apparati radicali e resti vegetali.					
2	1.00	0.85		Sabbie limose a granulometria medio-fine da scarsamente addensate a sciolte color marrone-chiaro con all'interno ghiaia centimetrica eteromorfa sub-arrotondata. Localmente si rinvencono livelli organici millimetrici e livelli alterati ocracei millimetrici.					
3				Ghiaie sub-arrotondate, poligeniche ed eteromorfe con dimensioni maggiori di 4-5 centimetri in abbondante matrice sabbioso-limosa color grigiastro.					
4				A metri 2.00 e da metri 3.80 a metri 4.05 trovanti calcareo, calcareo marnosi centimetrici	Semplice (101mm)		3.00 27-38-R 10cm(P.C.)	3.00 CRSPT1	
5		6.50					3.40	3.40	
6							6.00 R 10cm(P.C.)	6.00 CRSPT2	
7							6.10	6.10	
8	7.50			Alternanze di calcari, calcari-marnosi di color grigiastro fratturati e con vene e cristalli calcitici e locali argilliti a struttura scagliosa di colore grigiastro-nerastro.	T6S	18.00			
9		4.50						9.50 CR1	20%
10								9.80	50%
11									20%
12	12.00								-
13				Calcari e localmente calcari-marnosi color grigiastro fratturati e con vene ed inclusioni calcitiche.					19%
14									10%
15					Semplice (101mm)			14.40 CR2	50%
16								14.80	
17		8.00						16.00 CR3	40%
18								16.40	60%
19									55%
20	20.00								

Sondaggio n° **S2 CORSALONE SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S2 CORSALONE SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



### PROVA DPSH Corsalone Sx

Strumento utilizzato DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 27/08/2019  
 Profondità prova 6,60 m  
 Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	12	0,851	10,52	12,36	525,99	618,25
0,60	14	0,797	10,55	13,24	527,61	661,99
0,80	16	0,793	12,00	15,13	600,20	756,56
1,00	16	0,790	11,95	15,13	597,50	756,56
1,20	7	0,836	5,54	6,62	276,80	330,99
1,40	12	0,833	9,45	11,35	472,58	567,42
1,60	9	0,830	6,52	7,86	326,21	393,23
1,80	7	0,826	5,05	6,12	252,73	305,85
2,00	6	0,823	4,32	5,24	215,80	262,16
2,20	13	0,770	8,75	11,36	437,43	568,01
2,40	11	0,817	7,85	9,61	392,74	480,62
2,60	18	0,764	11,17	14,62	558,62	730,94
2,80	26	0,711	15,02	21,12	751,12	1055,80
3,00	21	0,709	12,09	17,06	604,33	852,76
3,20	17	0,756	10,44	13,81	521,89	690,33
3,40	24	0,703	13,71	19,49	685,53	974,59
3,60	19	0,751	10,82	14,41	541,13	720,67
3,80	16	0,748	9,08	12,14	454,19	606,88
4,00	27	0,696	14,26	20,48	712,80	1024,10
4,20	24	0,694	12,63	18,21	631,48	910,31
4,40	20	0,741	11,25	15,17	562,45	758,59
4,60	28	0,689	13,73	19,93	686,71	996,33
4,80	33	0,637	14,96	23,48	748,11	1174,24
5,00	48	0,585	19,98	34,16	999,21	1707,99
5,20	46	0,583	19,09	32,74	954,27	1636,82
5,40	44	0,581	18,19	31,31	909,71	1565,66
5,60	45	0,579	17,47	30,16	873,30	1507,94
5,80	45	0,577	17,41	30,16	870,50	1507,94
6,00	40	0,575	15,43	26,81	771,36	1340,39
6,20	45	0,574	17,30	30,16	865,14	1507,94
6,40	47	0,572	18,02	31,50	900,90	1574,96
6,60	>50					

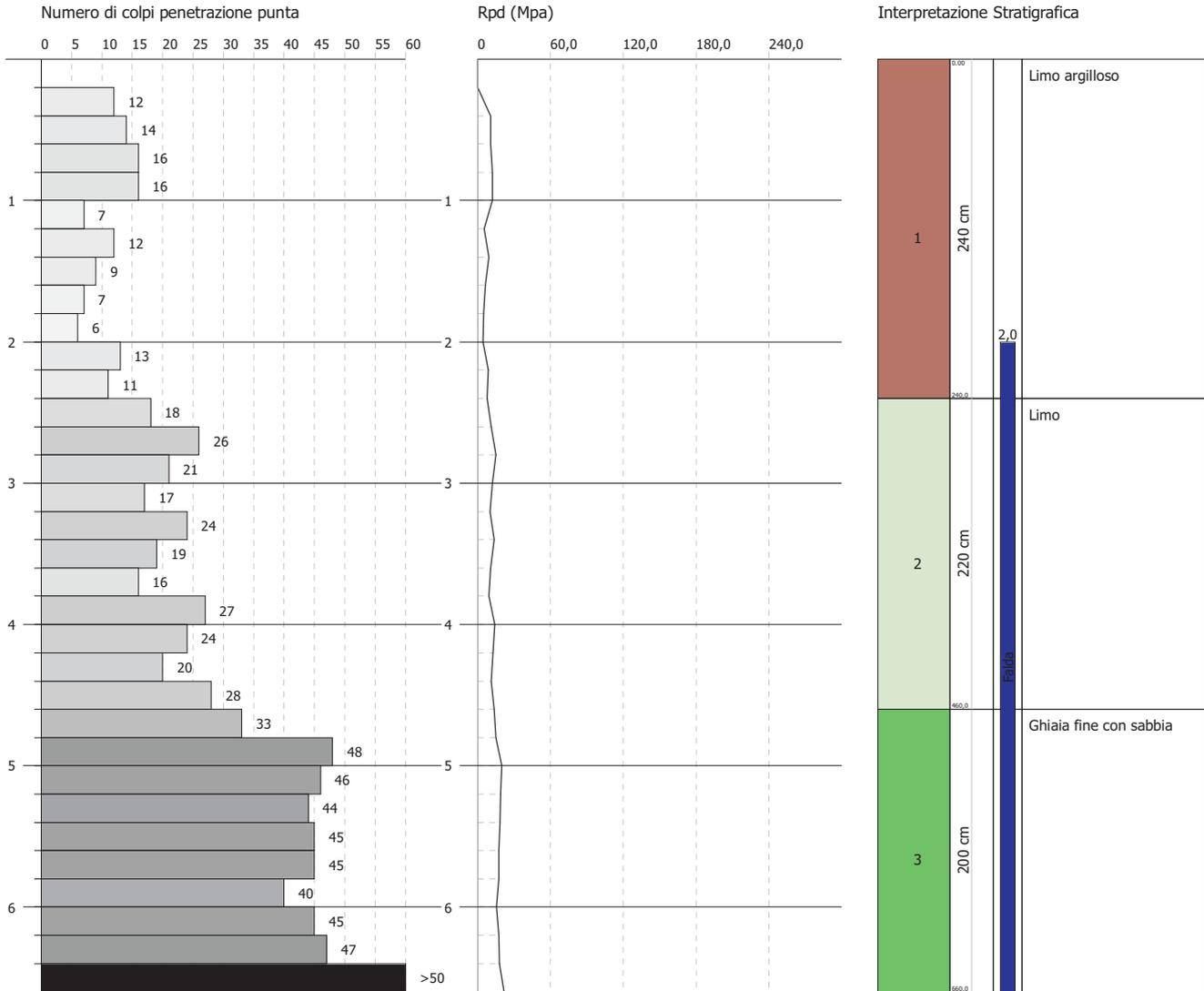
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2,4	10,25	9,5	Coesivo	1,47	15,09	Limo argilloso
4,6	21,82	16,95	Incoerente	1,47	32,12	Limo
6,6	45,3	30,85	Incoerente	1,47	66,68	Ghiaia fine con sabbia

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Corsalone Sx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Corsalone Sx  
 Località: Arno Casentino

Data: 27/08/2019

Scala 1:50





FARINI LUIGI - GEOLOGO  
Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR  
tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S1 DX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Località: Torrente Corsalone - Destra idrografica  
Lavoro: Passerella su Torrente Corsalone  
Data: 30/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5  
H = altezza di caduta (cm): 75  
Profondità della falda = 6,7 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
3,2	120	90	1,22	110
6,2	120	102	0,87	89
9,2	120	114	0,76	87
12,2	120	120	0,70	84

N = numero colpi originale  
N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)  
CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)  
N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	ld	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
3,15	GW-GP	21	102	50,8	33,8	-	-	0,487	80,1	70,1	254,6	288	38,9
6,15	GW-GP	21	93	49,6	36,0	-	-	0,469	88,8	63,3	296,5	329	33,05
9,15	GW-GP	21	92	49,2	36,4	-	-	0,463	97,3	64,6	331,2	357	32,54
12,15	GW-GP	21	90	48,8	36,8	-	-	0,457	101,4	64,4	353	376	31,58

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

ld = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

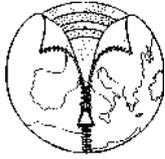
M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)



FARINI LUIGI - GEOLOGO

Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR

tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S2 SX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Località: Torrente Corsalone - Sinistra idrografica  
Lavoro: Passerella su Torrente Corsalone  
Data: 30/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5

H = altezza di caduta (cm): 75

Profondità della falda = 3,0 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
3,2	98	74	1,23	91
6,2	120	102	1,00	102

N = numero colpi originale

N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)

CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)

N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	ld	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
3,15	GW-GP	21	94	50,0	34,4	-	-	0,475	67,8	59,6	225,5	275	33,51
6,15	GW-GP	21	99	50,4	35,0	-	-	0,481	88,8	69	292,3	323	36,73

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

ld = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm<sup>2</sup>) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)

INDAGINI GEOFISICHE:

INDAGINI MASW

POSTAZIONI HVSR



# **PROVINCIA DI AREZZO**

## **“STUDIO TRAMITE MASW E RILIEVO H/V SUL TORRENTE CORSALONE”**



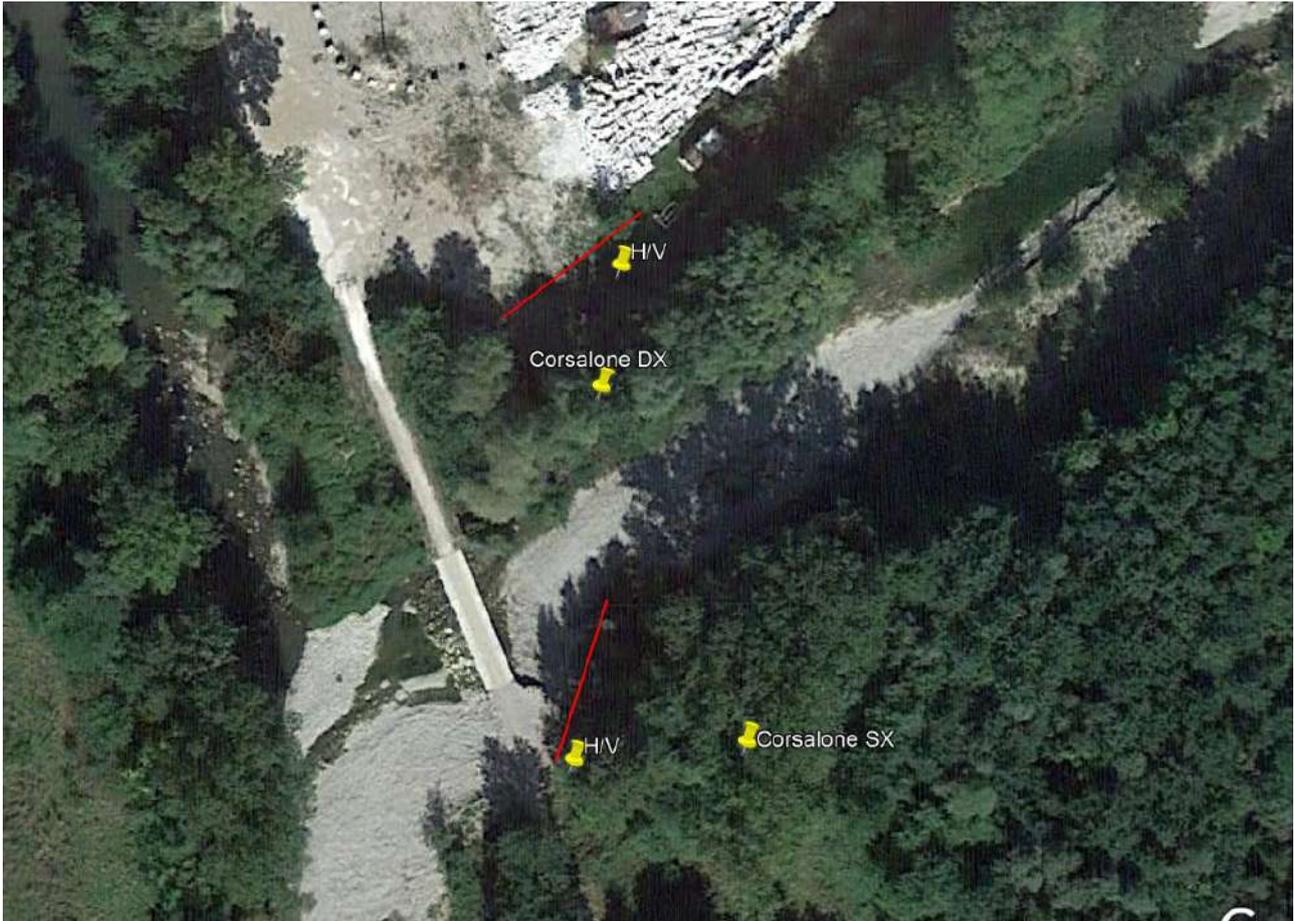
**RELAZIONE GEOFISICA**

## PREMESSA

Per la caratterizzazione di un sito lungo il torrente Corsalone dove si dovrà costruire una passerella, abbiamo eseguito u2 masw ed 2 rilievi tromometrici.

Le indagini si sono eseguite sotto la direzione tecnica del Dott. Geol. Farini Luigi.

Si sono esaminate le due sponde del torrente, una è stata rinominata Dx e l'altra Sx. Su ciascun lato abbiamo eseguito un masw ed un rilievo tromometrico.



## **METODOLOGIA USATA PER L'ANALISI DEI DATI**

Per analizzare la risposta di sito e determinare la pericolosità sismica in base alla normativa vigente si sono utilizzati due distinti metodi geofisici:

**SISMICA A RIFRAZIONE**-Si studia l'andamento del sottosuolo tramite la propagazione dell'onda rifratta.

Si individuano così spessori, velocità e geometrie dei vari sismo strati.

**MASW**-Si ricostruisce la stratigrafia (monodimensionale) attraverso lo studio dell'onda di Rayleigh o di Love.

Ponendo più Masw corti uno accanto all'altro si ricostruisce un profilo in VS.

**H/V**-Si ricava lo spettro di risposta di sito.

Se la sismica a rifrazione o il Masw riesce ad individuare il bedrock sismico, i dati dell'H/V (che rispetto alla sismica a rifrazione è una metodologia meno precisa) serviranno per confermare i dati acquisiti e per aggiungere alcune interessanti informazioni (spettro di risposta di sito).

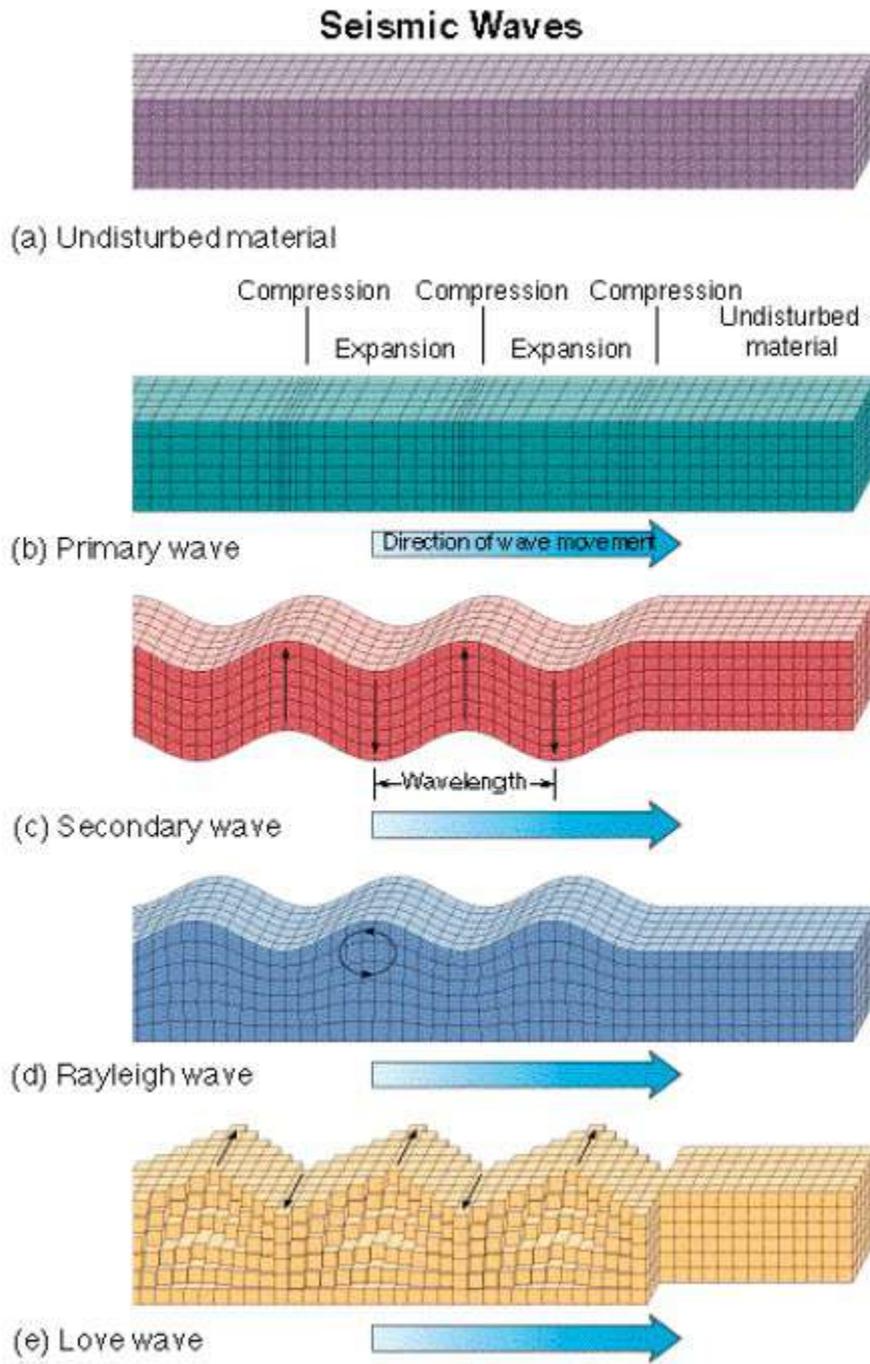
In questo caso, con la rifrazione in p, la velocità dei primi livelli è indicata dal MASW e le geometrie (è gli spessori) dalla rifrazione

Nei casi in cui la rifrazione o il Masw non arrivi ad intercettare il bedrock per i motivi più disparati ( stese corte o inversioni o terreni molto allentati) potremo chiudere l'indagine usando i dati provenienti dall' H/V.

In pratica, vincolando il modello 1D generante lo spettro di risposta ai dati in nostro possesso e provenienti dalla sismica e dal MASW, possiamo arrivare a fare delle presupposizioni abbastanza veritiere su quelli che sono gli orizzonti sismo stratigrafici più profondi.

L'H/V viene quindi usato per rifinire e completare le informazioni provenienti dalle altre indagini (dirette o indirette) eseguite.

**Vari tipologie di onde sismiche**



## STRUMENTAZIONE USATA PERI I RILIEVI

### MASW

Sismografo AMBROGEO ECHO24-2010

Geofoni verticali da 4,5 hz

Massa battente (mazza)



Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

## **SOFTWARE USATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DEI DATI**

### **Acquisizione dei dati**

*SISMOPC 1.0-PASI  
AMROGEO*

### **Elaborazione e filtraggio**

<i>Visual Sunt 20</i>	<i>Wgeosoft -filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>Seismic Unix</i>	<i>Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>WinMasw Pro</i>	<i>Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione</i>
<i>Grilla</i>	<i>Tromino-H/V</i>
<i>Geopsy</i>	<i>Software Libero-H/V</i>
<i>Winsism 11.2</i>	<i>Wgeosoft-sismica a rifrazione</i>
<i>Rayfract</i>	<i>Intelligent re source-sismica a rifrazione</i>

### **Modelli 1 D e rischio sismimico**

<i>Deep Soil</i>	<i>software libero-Risposta di sito modellazione 1D</i>
<i>Rexel</i>	<i>software libero-risposta di sito-terremoto di progetto</i>
<i>Shake 2000</i>	<i>Geo Motions-risposta di sito -modellazione 1D -liquefazione ecc.</i>
<i>Ciclic 1D</i>	<i>software libero-liquefazione</i>

**TUTTI I SOFTWARE COMMERCIALI IN NOSTRO POSSESSO SONO ORIGINALI E DOTATI DI ORIGINALE LICENZA**

## RILIEVI TROMOMETRICI

### Tromino Micromed



<b>Number of channels</b>	3+1 analog
<b>Amplifiers</b>	all channels with differential inputs
<b>Noise</b>	< 0.5 $\mu$ V r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Input impedance</b>	$10^6$ Ohm
<b>Frequency range</b>	DC - 360 Hz
<b>Sampling frequency</b>	16384 Hz per channel
<b>Oversampling frequency</b>	32x, 64x, 128x
<b>A/D conversion</b>	$\geq$ 24 bit equivalent
<b>Max analog input</b>	51.2 mV (781 nV/digit)

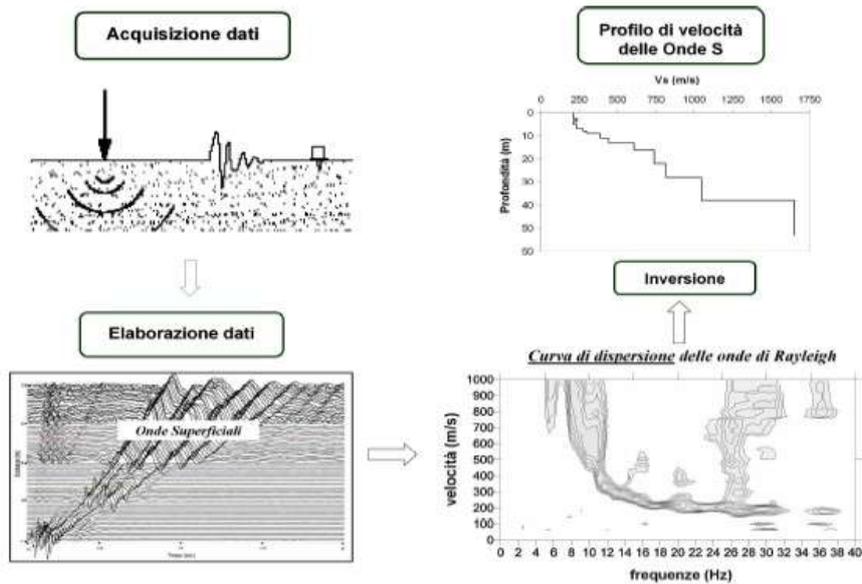
## CENNI TEORICI MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Nel metodo di indagine passivo si registra il rumore di fondo.



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di

sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curva di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

### **STRUMENTAZIONE USATA**

Ambrogeo2010SU

Numero dei canali 12

A/D conversione 24 bit

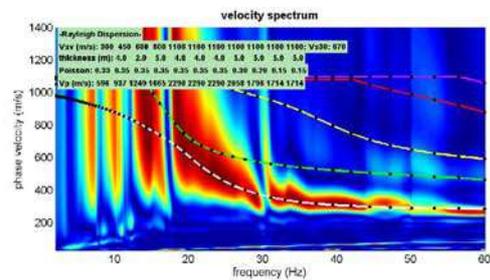
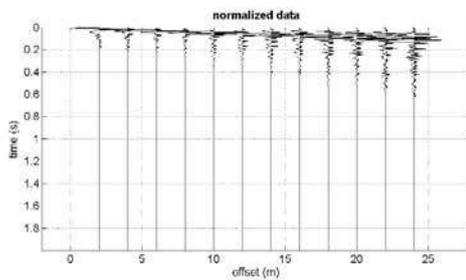
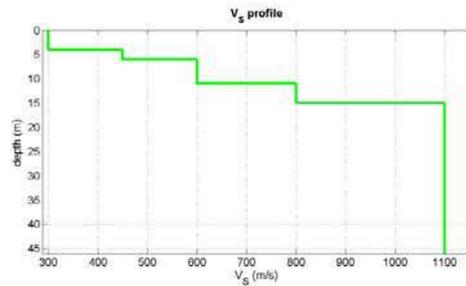
Geofoni da 4.5 hz verticali

### **SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE**

Generazione di onde P:

massa battente (mazza da 8 kg)

# Corsalone dx



## Mean model

Vs (m/s): 300, 450, 600, 800, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100

Thickness (m): 4.0, 2.0, 5.0, 4.0, 4.0, 4.0, 5.0, 5.0, 5.0, 5.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.93 2.04 2.11 2.18 2.26 2.26 2.26 2.23 2.20 2.18 2.18

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 174 413 759 1394 2729 2729  
 2729 2698 2658 2644 2644

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

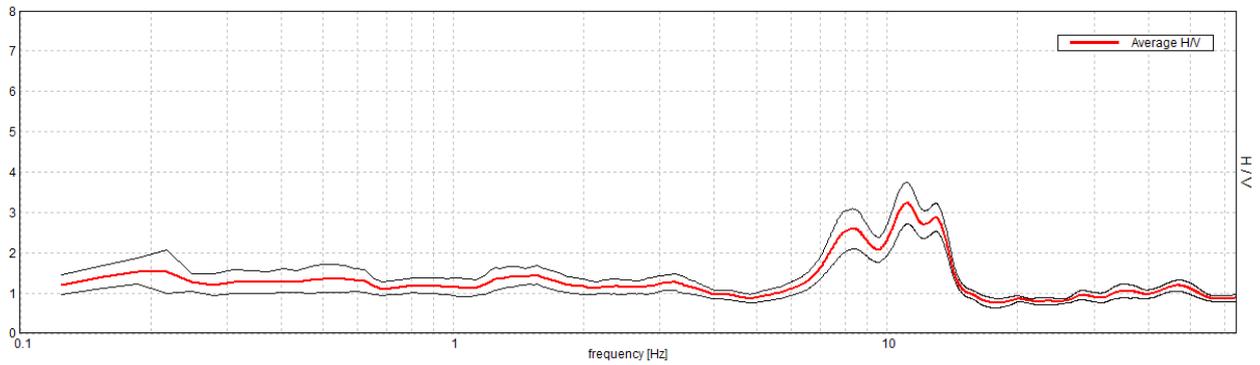
Vs30 (m/s): 670

Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 10:34:25 Fine registrazione: 01/08/19 10:56:25  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

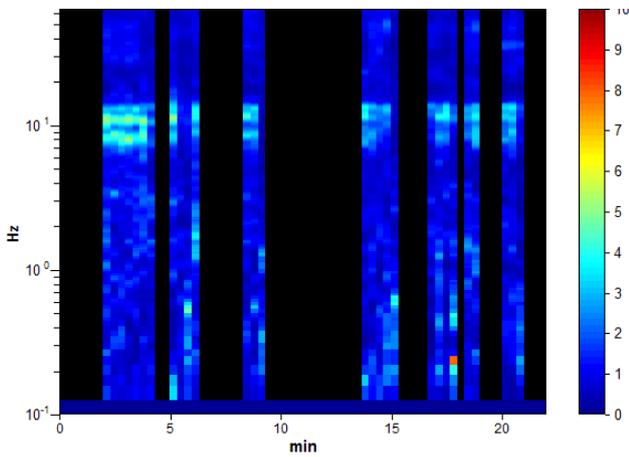
Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 42% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

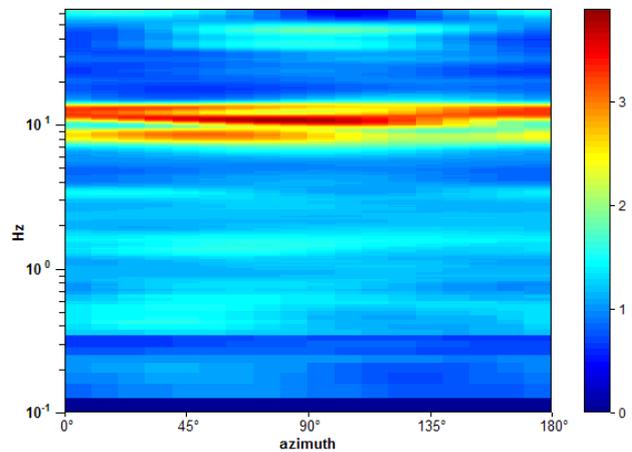
Picco H/V a  $11.09 \pm 0.19$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



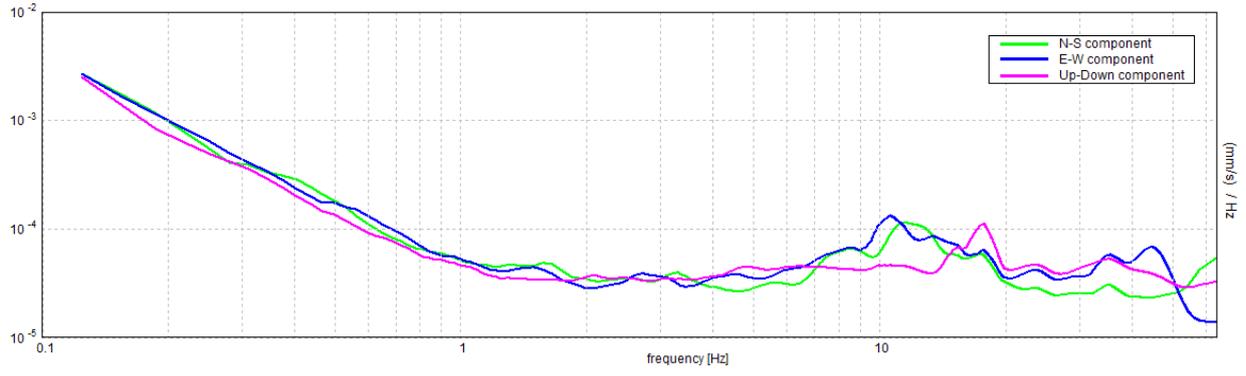
### SERIE TEMPORALE H/V



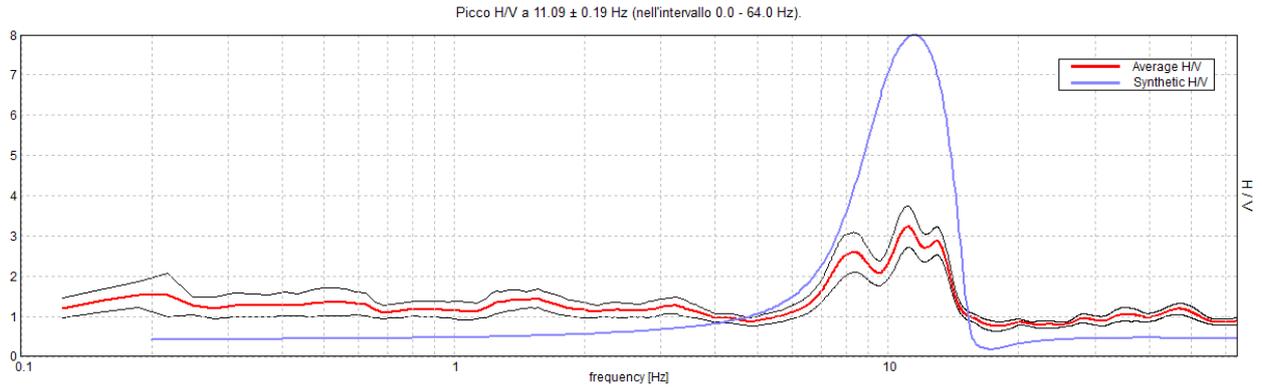
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

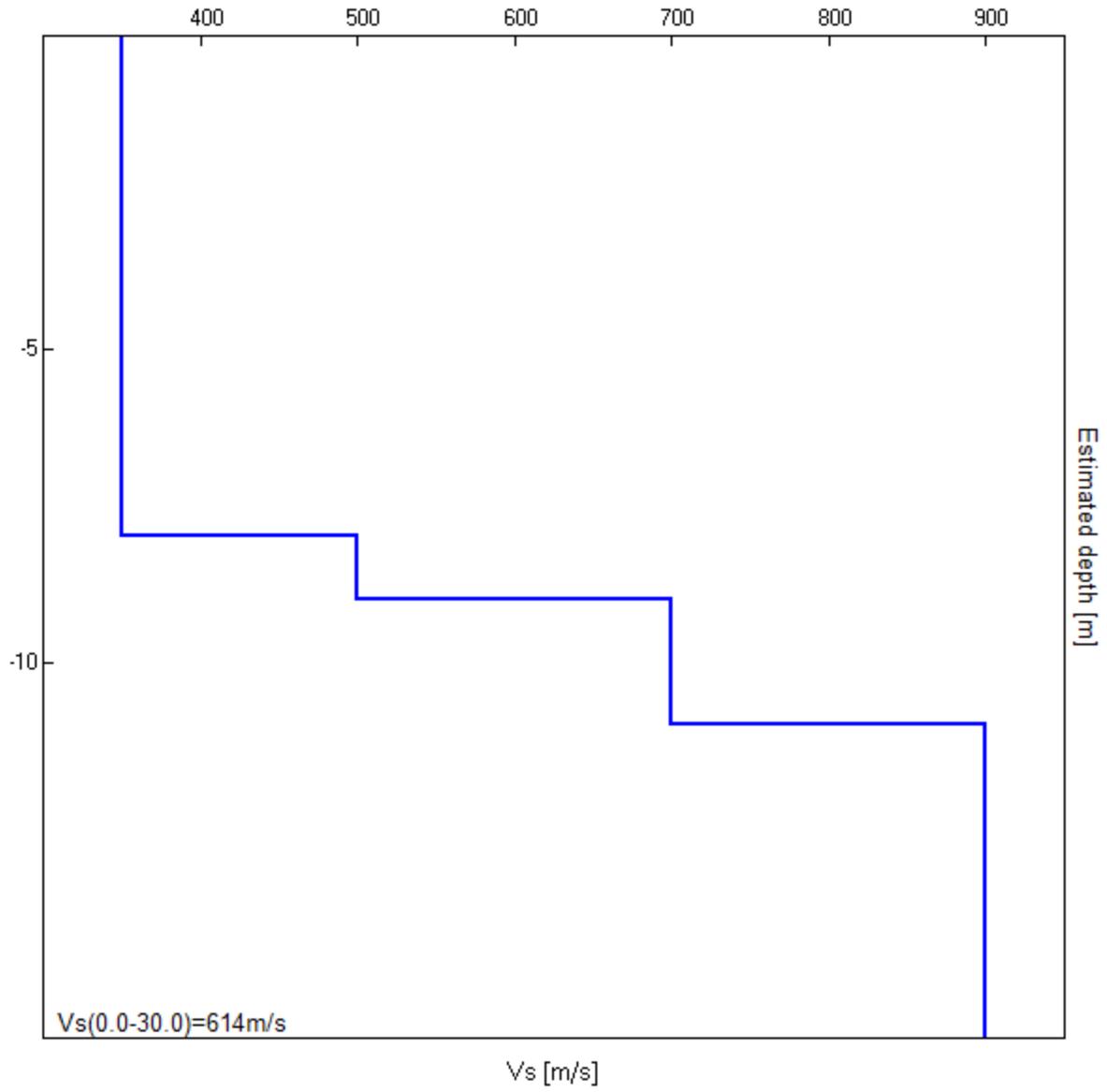


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
8.00	8.00	350	0.40
9.00	1.00	500	0.40
11.00	2.00	700	0.40
inf.	inf.	900	0.42

$V_s(0.0-30.0)=614\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 11.09 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	11.09 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	6212.5 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 534	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

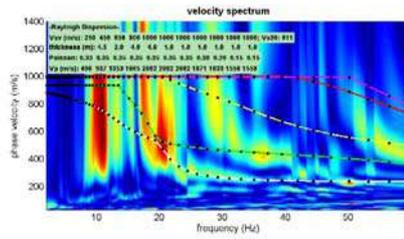
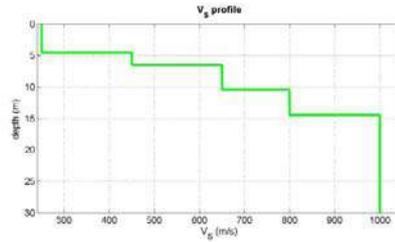
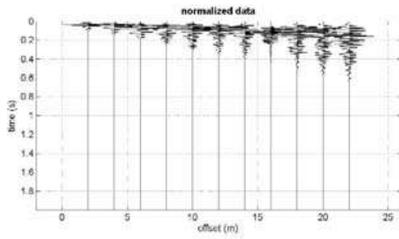
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	7.0 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	14.219 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	3.23 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.01711  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.18981 < 0.55469	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.5183 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# Corsalone sx



## Mean model

Vs (m/s): 250, 450, 650, 800, 1000, 1000, 1000, 1000, 1000, 1000

Thickness (m): 4.5, 2.0, 4.0, 4.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.88 2.04 2.13 2.18 2.23 2.23 2.23 2.21 2.17 2.16 2.16

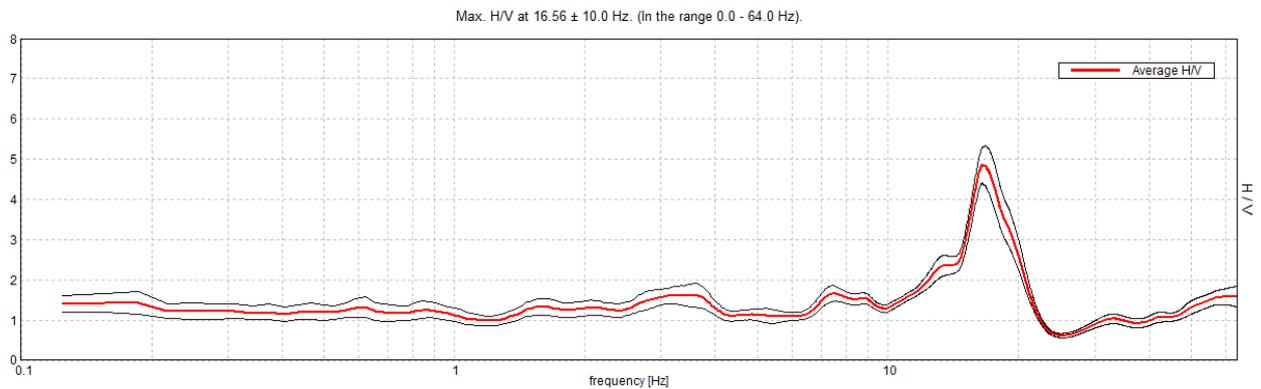
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 118 413 899 1394 2232 2232 2232 2206 2173 2162 2162

Vs30 (m/s): 611

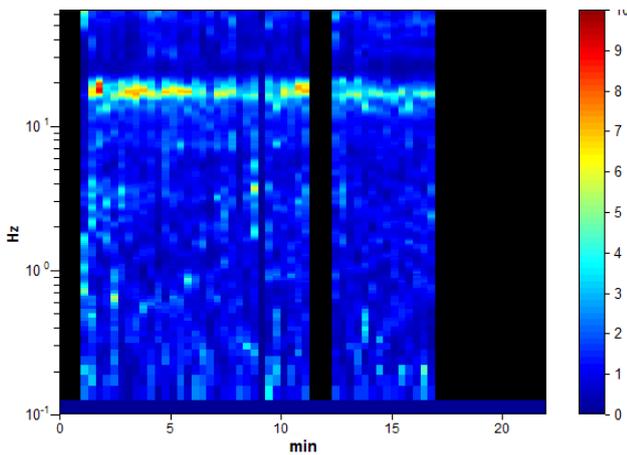
Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 10:59:15 Fine registrazione: 01/08/19 11:21:15  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 68% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

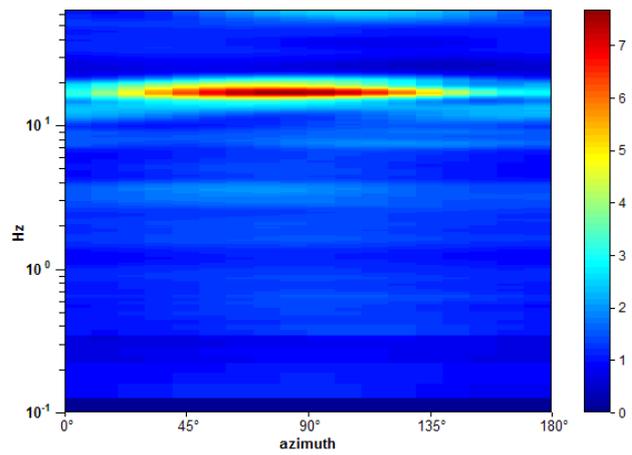
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



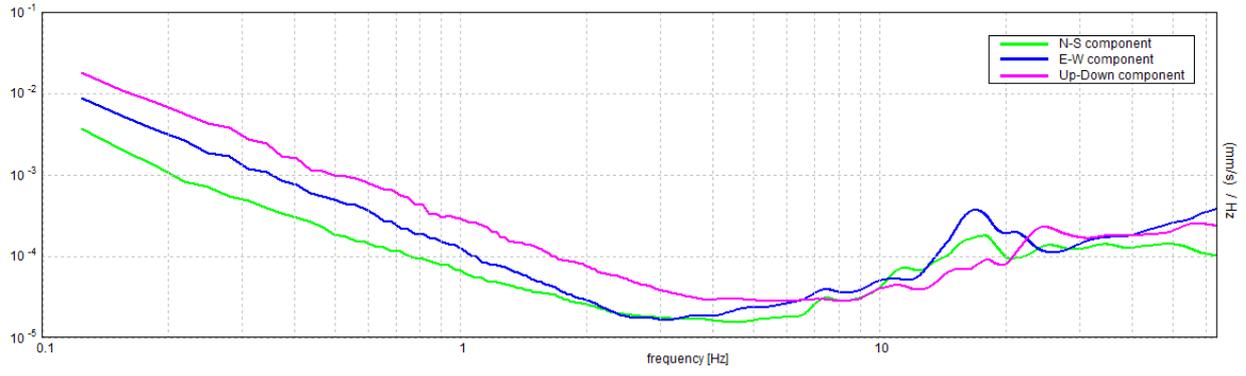
### SERIE TEMPORALE H/V



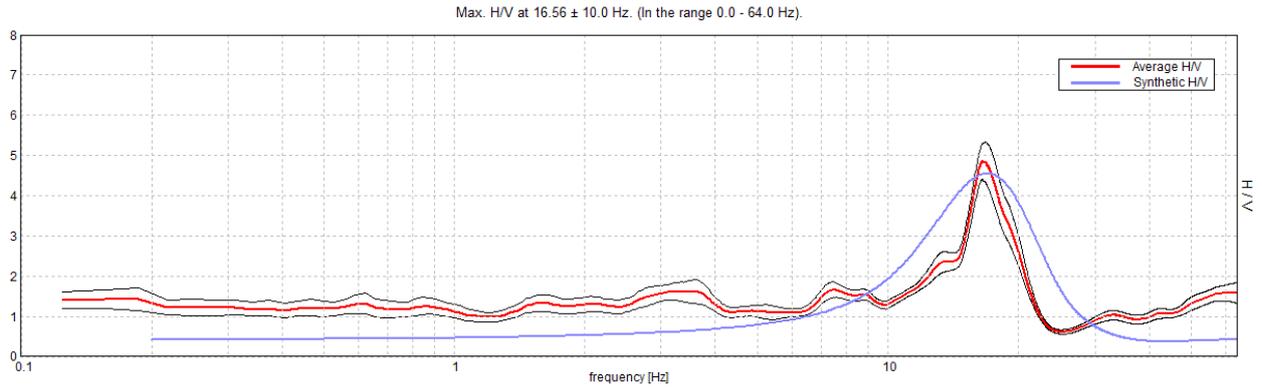
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

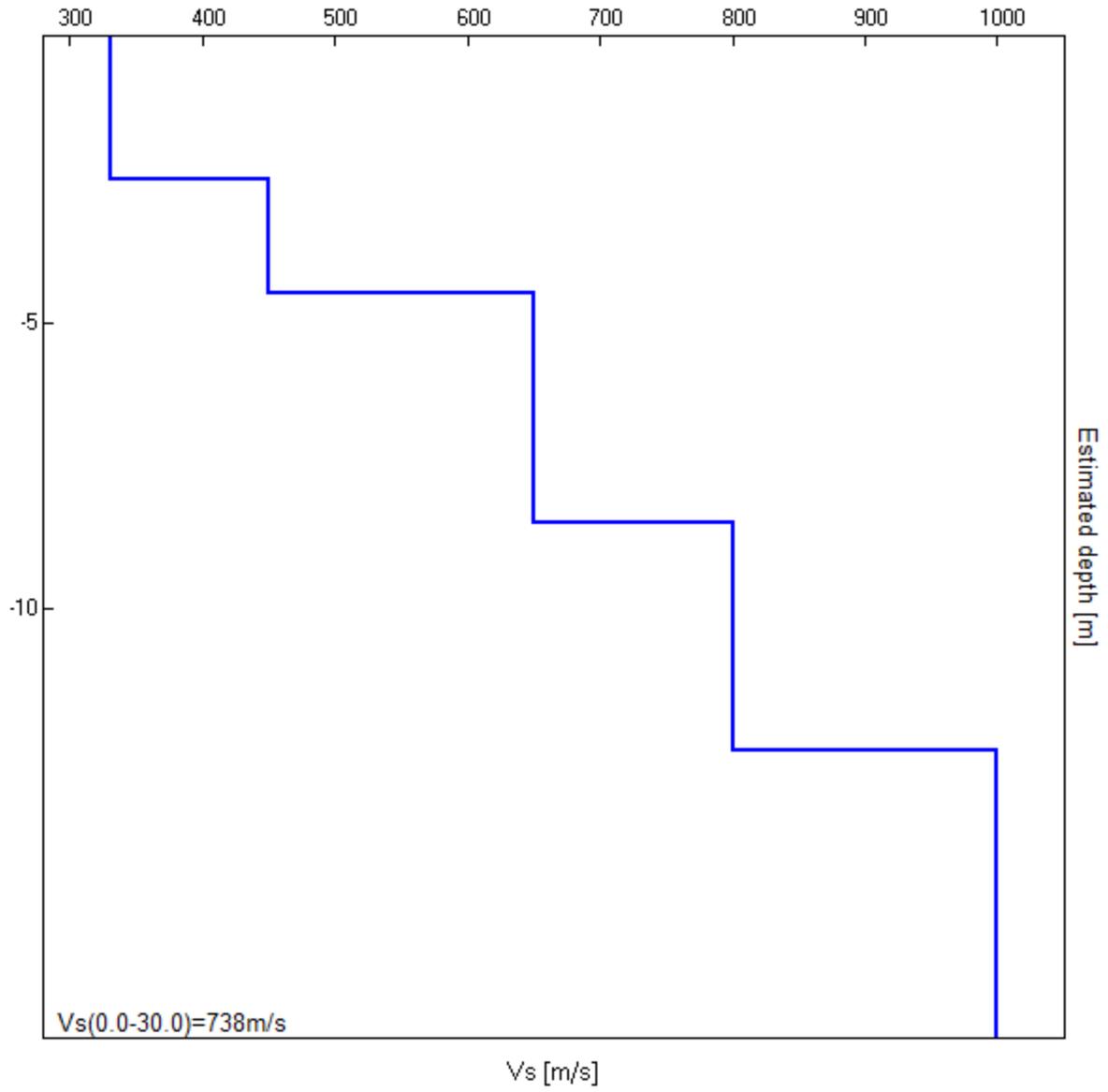


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.50	2.50	330	0.42
4.50	2.00	450	0.42
8.50	4.00	650	0.42
12.50	4.00	800	0.42
inf.	inf.	1000	0.42

Vs(0.0-30.0)=738m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $16.56 \pm 10.0$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$16.56 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$14906.3 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 796	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	14.5 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	20.281 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$4.86 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.60378  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$10.00009 < 0.82813$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.4588 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**AREZZO 29-07-2019**

**GALILEO GEOFISICA**



ANALISI LABORATORIO GEOTECNICO





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 421/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 150/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S2CR1 Profondità 9.5 - 9.8 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



Rapporto di prova n. 421/2019

Campione S2CR1 Profondità 9.5 - 9.8 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95

Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna argillosa, colore grigio scuro nerastro



**provino A**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.48	70.90	55.40	339.16	0.25

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.05	1.05	0.05	23.9	24.2	1.2

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 421/2019

Campione S2CR1 Profondità 9.5 - 9.8 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.80	70.63	56.90	350.06	2.10

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.42	1.06	0.45	24.2	23.1	10.8

provino C

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.23	72.45	54.33	323.45	1.10

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.21	1.04	0.22	23.7	23.8	5.2

provino D

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.50	71.33	55.57	337.5	0.75

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.15	1.05	0.15	23.9	23.7	3.7

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 421/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

Campione	S2Cr1	S2Cr1	S2Cr1	S2Cr1
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	1.2	10.8	5.2	3.7
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.2	23.1	23.8	23.7

*Michele Caloni*





## Rapporto di prova n. 422/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 150/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

CAMPIONI: n. 2 spezzoni di roccia

S2Cr2 profondità 14.4 - 14.8 m

S2Cr3 profondità 16.0 - 16.4 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Prova a compressione uniassiale (ASTM 2938-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



**Rapporto di prova n. 422/2019**

<b>Campione: S2CR2</b>	<b>Profondità 14.4 - 14.8 m</b>
------------------------	---------------------------------

**Prova a compressione uniassiale - ASTM 2938-95**  
**Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: marna argillosa grigio scura



Provino			
Altezza (cm)	Diametro (cm)	Peso (gr)	Carico a rottura (kN)
16.33	8.19	2213	385.5
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Resistenza a rottura (MPa)	
	25.2	73.2	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 422/2019

Campione: S2CR3 Profondità 16.0 - 16.4 m  
Prova a compressione uniaassiale - ASTM 2938-95  
Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna argillosa grigio scura nerastra



Provino			
Altezza (cm)	Diametro (cm)	Peso (gr)	Carico a rottura (kN)
16.27	8.23	2206	320.5
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Resistenza a rottura (MPa)	
	25.0	60.3	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 422/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

Campione	S2Cr2	S2Cr3
<b>Prova a compressione uniassiale</b>		
$\sigma$ a rottura (MPa)	73.2	60.3
<b>Parametri fisici</b>		
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	25.2	25.0

*Michele* 



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 432/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 150/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell' Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S1CR1 Profondità 9 17.6 - 18.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



Rapporto di prova n. 432/2019

Campione S1CR1 Profondità 17.6 - 18.0 m

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna - calcare marnoso colore grigio chiaro - grigio



**provino A**

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)
3.41	80.68	59.10	438.99	10.50

Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C	$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.61	1.08	1.74	24.6	24.7	42.8

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



## Rapporto di prova n. 432/2019

**Campione S1CR1 Profondità 17.6 - 18.0 m****Point Load Test - ASTM D 5731-95**  
**Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)****provino B**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.36	80.62	57.31	432.97	10.50

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.62	1.06	1.72	24.3	24.8	41.7

**provino C**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.43	80.56	59.06	441.92	9.00

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.39	1.08	1.49	24.6	24.8	36.7

**provino D**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.41	80.50	58.16	439.28	10.00

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.54	1.07	1.65	24.4	24.8	40.3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo GambassiIl direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 432/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

Campione	S1Cr1	S1Cr1	S1Cr1	S1Cr1
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	42.8	41.7	36.7	40.3
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.7	24.8	24.8	24.8

*Michele Caloni*





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 433/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 150/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell' Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S1CR2 Profondità 19.5 - 20.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



Rapporto di prova n. 433/2019

**Campione S1CR2 Profondità 19.5 - 20.0 m**

**Point Load Test - ASTM D 5731-95**  
**Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: argillite - argillite marnosa, colore grigio scuro



**provino A**

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.06	70.16	55.92	290.2	0.75		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
0.15	1.05	0.16	24.0		24.1	3.8

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



## Rapporto di prova n. 433/2019

**Campione S1CR2 Profondità 19.5 - 20.0 m****Point Load Test - ASTM D 5731-95**  
**Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)****provino B**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.07	70.40	51.86	304.65	1.25

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.25	1.02	0.26	23.3	25.0	6.0

**provino C**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.03	70.55	51.91	298.32	2.50

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.50	1.02	0.51	23.3	24.7	11.9

**provino D**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.05	70.35	53.54	295.34	1.25

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.25	1.03	0.26	23.6	24.4	6.1

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo GambassiIl direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 433/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Corsalone

Campione	S1Cr2	S1Cr2	S1Cr2	S1Cr2
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	3.8	6.0	11.9	6.1
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.1	25.0	24.7	24.4

*Michele Caloni*

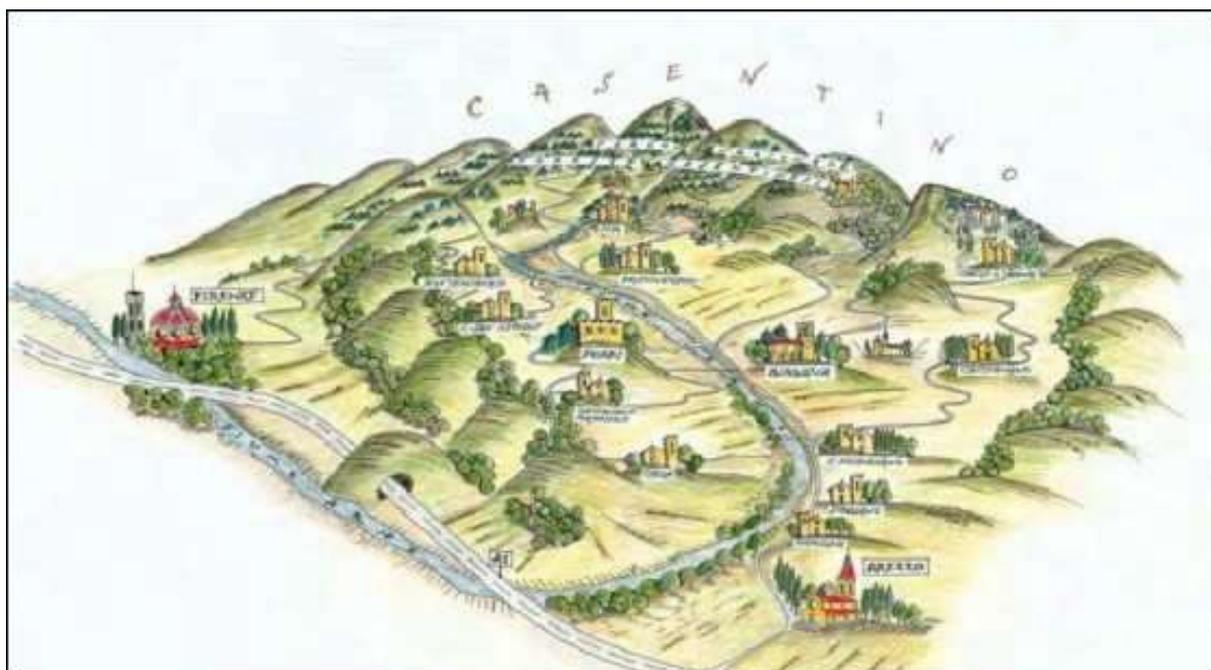


# UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO

Via Roma, 203 – 52014 – Ponte a Poppi, Poppi (Ar) – [unione.casentino@postacert.toscana.it](mailto:unione.casentino@postacert.toscana.it) - CF/P. IVA: 02095920514



## SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA TRATTO FIUME ARNO CASENTINO 2° STRALCIO – 3° LOTTO



### **PASSERELLA SUL RIO BURLAZZO**

**Elaborato: Studio geologico tecnico**

data: 21/10/2019



STUDIO GEOLOGICO  
**Dott. LUIGI FARINI**

Via Case Venti, 11b - 52010 - Badia Prataglia (AR)  
Tel. e Fax: 0575 / 594 277 - Cell: 338 / 59 87 380 - E-mail: [farini.luigi@geologi.it](mailto:farini.luigi@geologi.it)  
Codice Fiscale: FRN LGU 67L16A 851G - Partita I.V.A.: 0 1 9 4 5 2 1 0 5 1 4

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	5
2.1	Morfologia.....	5
2.2	Geologia.....	5
2.3	Idrogeologia.....	6
3	GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
3.1	Indagini penetrometriche.....	7
3.2	Perforazione a rotazione con carotaggio continuo.....	8
3.3	Standard Penetration Test – S.P.T.....	8
3.4	Analisi dei campioni.....	9
3.5	Indagini geofisiche.....	9
3.5.1	MASW.....	9
3.5.2	Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR.....	11
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	13
4.1	Caratterizzazione da indagini penetrometriche dinamiche.....	13
4.1.1	Peso unità di volume.....	14
4.1.2	Angolo di resistenza al taglio $\varphi$ .....	14
4.1.3	Coesione non drenata $C_u$ .....	14
4.1.4	Modulo edometrico $E_d$ .....	15
4.2	R.Q.D. (Rock Quality Designation).....	15
4.3	Resistenza alla compressione monoassiale della roccia.....	15



4.4	Angolo d'attrito e coesione dell'ammasso.....	15
4.4.1	Classificazione di Bieniawski.....	16
4.4.2	Criterio di rottura di Hoek-Brown.....	17
4.5	Determinazione parametri caratteristici e di progetto.....	19
5	CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO.....	20
5.1	Vita Nominale della Struttura (VN) (§ 2.4.1 NTC-08).....	20
5.2	Classi d'Uso (CU) (§ 2.4.2 NTC-08).....	21
5.3	Periodo di Riferimento (VR) (§ 2.4.3 NTC-08).....	21
5.4	Stati Limite e Probabilità di Superamento (§ 3.2.1 NTC-08).....	21
5.5	Definizione del Periodo di Ritorno (§ 3.2.1 NTC-08).....	22
5.6	Classificazione Topografica del Sito (§ 3.2.2 NTC-08).....	22
5.7	Determinazione delle Categoria di Sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-08).....	23
5.8	Frequenza di sito.....	25
5.9	Sismicità di Riferimento su Suolo Standard.....	25
5.10	Definizione della Pericolosità Sismica di Base (§3.2 NTC-08).....	25
6	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	26
6.1	Parametri sismici.....	27
6.2	Coefficienti Sismici.....	27
7	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-08).....	28
8	REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI.....	28
9	CONCLUSIONI.....	29



## 1 PREMESSA

La presente relazione costituisce il supporto geologico al progetto dei lavori di realizzazione di realizzazione del “Sistema Integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del Sentiero della Bonifica tratto Fiume Arno Casentino 2° stralcio – 3° lotto” per la passerella sul Rio Burlazzo in Comune di Arezzo – AR.

L'area, secondo il Piano Strutturale è classificata: **Pericolosità Geomorfologica G3. “Pericolosità Geomorfologica elevata”** (Tav. 6), la **Pericolosità Idraulica I.4 “Pericolosità Idraulica molto elevata”** (Tav. 7) e la **Pericolosità Sismica S.2 “Pericolosità Sismica locale media”** (Tav. 8). La pericolosità di frana secondo il P.A.I. - Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno, è in area non classificata, mentre il rischio di alluvioni secondo il P.G.R.A. - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Fiume Arno, risulta a pericolosità **P.3 Pericolosità Ellevata, per alluvioni frequenti** (TAV. 8).

Le relative fattibilità, riportate in Tav. 9, assegnate in funzione della tabella allegata al Regolamento Urbanistico, nell'allegata scheda del Regolamento Urbanistico indicano: **Fattibilità Geomorfologica F.3: “Fattibilità condizionata”**; **Fattibilità Sismica F2: “Fattibilità con normali vincoli”**, la **Fattibilità Idraulica F4 “Fattibilità limitata”**.

Il presente lavoro è svolto in conformità alle norme vigenti:

- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*

Inoltre ai sensi della nuova DPGR n. 36/R del 9/07/2009 (Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza delle opere e delle costruzioni nelle zone soggette a rischio sismico - Pubblicato sul BURT n. 25 del 17/07/2009), per questo tipo d'intervento non ci sono indicazioni particolare, pertanto come indicato per gli studi geologici delle passerelle del 1° lotto, viene considerata per questo tipo di lavoro la classe di indagine n. 3, nella quale, *...la categoria di suolo di fondazione e le geometrie sepolte si determinano mediante indagini geofisiche, quali quelle sismiche a rifrazione o riflessione, eseguite nel sito oggetto di studio. In presenza di problematiche di versante sono*



altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio basate su sondaggi geognostici. La definizione dei parametri geotecnici è basata su sondaggi geognostici.

Tavole allegate alla relazione:

<i>Tavola</i>	<i>Scala</i>
Certificati indagini geognostiche	--
1. Inquadramento topografico	1 : 10.000
2. Carta geologica	1 : 5.000
3. Planimetria intervento con ubicazione indagini	1 : 500
4. Sezione geotecnica	1 : 200
5. Carta idrogeologica del Piano Strutturale	--
6. Carta pericolosità geologica del Piano Strutturale	--
7. Carta pericolosità idraulica del Piano Strutturale	--
8. Carta pericolosità sismica del Piano Strutturale	--
9. Carta estratto PAI - pericolosità di frana e PGRA pericolosità alluvioni	--
10. Tabella assegnazione classe di fattibilità geologica e sismica	--
11. Tabella assegnazione classe di fattibilità idraulica	--

## 2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.

Il sito in esame è posto lungo il corso del Rio Burlazzo, ad una quota di circa 245 m s.l.m., in adiacenza alla linea ferroviaria Stia Arezzo, tra questa ed il Fiume Arno (TAV. 1 e 2) .

### 2.1 MORFOLOGIA

La zona un'area pianeggiante profondamente incisa dai corsi d'acqua presenti, con presenza sistemazioni idrauliche a difesa delle sponde. L'area è pianeggiante con pendenze inferiori al 5%.

Dai sopralluoghi svolti attorno all'area d'intervento, hanno evidenziato l'assenza sul territorio circostante di indizi che possano far pensare adire o siano riferibili alla presenza di fenomeni geologici attivi o quiescenti pericolosi per l'intervento stesso.

Le caratteristiche morfologiche, ricavate da osservazioni di campagna, hanno evidenziato la notevole antropizzazione del territorio circostante la zona oggetto di studio, con la presenza di sistemazioni agrarie e opere idrauliche.

### 2.2 GEOLOGIA

Geologicamente, la zona studiata è rappresentata dai **DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI** (Olocene, depositi recenti di ambiente fluviale, costituiti da litotipi a granulometria generalmente grossolana. Dal punto di vista litologico,



sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli arenacei con sabbie e limi). I terreni affioranti nel resto dello stralcio cartografico allegato sono rappresentati da **DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI** (Olocene, depositi di ambiente fluviale, depositi dopo la fase distensiva plio-pleistocenica. Costituiti da depositi sciolti quali sabbie, ghiaie e limi ), **SUBSISTEMA DI MONTICELLO** (Pleistocene medio, dai terreni depositati dal paleo Arno costituiti principalmente da ciottolami, sabbie e limi.) e **ARENARIE DEL MONTE FALTERONA** (Acquitaniense-Langhiano, torbiditi arenacee medio grossolane in strati di oltre 100 cm., alternate ad interstrati siltoso marnosi molto esigui).

### 2.3 IDROGEOLOGIA

Durante le indagini geognostiche non è stata rilevata presenza di falda acquifera. La carta idrogeologica (TAV. 5) indica la presenza di vari pozzi; dalla carta piezometrica è possibile rilevare la soggiacenza della falda acquifera che è attorno ai 239 m. s.l.m., che pone la falda a circa 6,00 ÷ 6,50 m. da piano campagna.

Dall'andamento delle isopieze della carta idrogeologica, risulta che la falda acquifera nel sottosuolo locale è drenata dal Rio Burlazzo e dal Fiume Arno.

## 3 GENERALITÀ DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche commissionate da Unione dei Comuni del Casentino e coordinate dal sottoscritto quale Direttore Lavori delle stesse, sono state eseguite sui due fianchi del Rio Burlazzo come indicato in TAV. 3. Tali indagini hanno avuto lo scopo di evidenziare, assieme ai rilievi geomorfologico sul territorio, le caratteristiche dei terreni presenti del sito di studio in modo da rilevarne le possibili complicazioni di natura geologica e geotecnica e sismica e poter fornire dati utili per la loro progettazione. Le indagini utilizzate per redigere il presente studio sono le seguenti:

- **indagini penetrometriche** : n. 2 prove penetrometriche eseguite con metodologia dinamica superpesante DPSH estese sino alla profondità alla quale è stata rilevato rifiuto all'infissione.
- **Perforazione a rotazione con carotaggio continuo**: n. 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi entrambi 20,0 (S1 e S2), svolti ciascuno sulle sponde del Rio Burlazzo. Per ottenere ulteriori dati geotecnici sui terreni attraversati, durante i sondaggi sono state eseguite n. 5 Standard Penetration Test (S.P.T.) e prelevati prelevati n. 7 campioni rimaneggiati entro le argilliti ed arenarie del substrato locale.



- **Analisi geotecniche sui campioni prelevati:** Sui campioni di terra, sono state eseguite le seguenti analisi: caratteristiche fisiche dei terreni, analisi granulometrica, limiti di Atterberg, prova di taglio diretto consolidata-drenata e prova edometrica. Sui campioni di roccia : Point Load Test
- **indagini geofisiche:** n. 2 prospezioni geofisiche di sismica attiva con metodologia MASW; n. 2 postazioni di sismica passiva con metodologia HVSR.

Questo tipo di indagine geognostica ha permesso una caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni presenti, dalla quale ricavare:

1. una buona definizione degli orizzonti con qualità geologiche e geotecniche complessivamente differenti
2. una buona definizione delle condizioni geologiche del terreno.

Le prove penetrometriche DPSH e SPT, hanno avuto lo scopo di caratterizzare i terreni dal punto di vista geotecnico, integrando le stesse con le litologie dei terreni incontrati e le analisi di laboratorio sui campioni prelevati. Queste in associazione con le indagini geofisiche hanno permesso la definizione di un modello geotecnico e sismico del sottosuolo dove sorgerà la passerella. Si è potuto ricavare pertanto, con sufficiente definizione la sequenza stratigrafica locale, che ha permesso di discretizzare orizzonti con differenti caratteristiche fisico-meccaniche.

L'indagine MASW in associazione con HVSR sono state utilizzate per specificare la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro Vs30. Le informazioni rilevate dalle analisi di rumore ambientale con l'HVSR, hanno avuto lo scopo, oltre che di definire le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

### 3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE

I risultati delle verticali penetrometriche sono stati utilizzati per raccogliere indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati e definirne di conseguenza la successione litotecnica locale. L'ubicazione delle prove penetrometriche è riportata in TAV. 3.

La strumentazione utilizzata per eseguire la prova DPSH è sempre il penetrometro dinamico PAGANI TG 63-200, questa volta attrezzato in accordo con le normative internazionali (ISSMFE) ha le seguenti caratteristiche tecniche:



<i>peso massa battente: 63.5 Kg.</i>	<i>altezza di caduta: 75.0 cm.</i>	<i>area di base punta conica: 20 cmq.</i>
<i>angolo apertura punta conica: AGI 90°</i>	<i>peso asta 7 Kg / ml</i>	<i>diametro della punta conica 50,50 mm</i>
<i>avanzamento punta: 20 cm</i>	<i>Lunghezza aste: 1.00 m.</i>	<i>Peso sistema di battuta: 30 Kg</i>

La prova dinamica superpesante consiste nel misurare il numero di colpi N necessari per far avanzare di 20 cm nel terreno la punta conica.

### 3.2 *PERFORAZIONE A ROTAZIONE CON CAROTAGGIO CONTINUO*

Il sondaggio geotecnico è consistito nella perforazione a carotaggio continuo in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità e osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati. Durante tali operazioni, oltre l'estrazione di carote per il riconoscimento della litostratigrafia dei terreni sono stati prelevati campioni rimaneggiati; su quest'ultimi saranno eseguite delle analisi di laboratorio geotecnico. Inoltre entro il foro di sondaggio sono state eseguite prove geotecniche tipo SPT.

Per l'esecuzione del sondaggio è stata utilizzata una sonda con testa idraulica di rotazione alla quale sono collegate delle aste di perforazione sulla cui cima è alloggiato un utensile di perforazione (carotiere). Al fine di evitare il franamento del foro tra una manovra di carotaggio e l'altra, nel caso in cui il terreno non si auto sosteneva, è stato usato del rivestimento metallico provvisorio.

### 3.3 *STANDARD PENETRATION TEST – S.P.T.*

È una prova discontinua, realizzata nel foro durante l'esecuzione dei carotaggi. Tale prova viene eseguita nel foro preventivamente ripulito, e consiste nella infissione a percussione, di un campionatore a punta aperta con pareti grosse (campionatore Raymond) o come nel caso dei sondaggi S1 ed S2, vista la tipologia dei terreni, è stata montata sul campionatore una punta chiusa. Tutto il sistema di prova ha le seguenti caratteristiche: diametro esterno di 51 mm; il dispositivo di percussione comprende una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste, un maglio di acciaio di 63.5 kg (140 libbre), un sistema di guida e sganciamento automatico del maglio che assicuri una corsa a caduta libera fissa pari a 0.76 m (30 pollici).- Con questa prova vengono registrati i colpi necessari per una penetrazione di 30 cm (NSPT) del campionatore. Durante l'infissione infatti, si registrano i colpi necessari a produrre l'avanzamento totale di 45 cm.



### 3.4 ANALISI DEI CAMPIONI

Nel corso della perforazione di sondaggio sono stati prelevati solo campioni di roccia, per sottoporli successivamente a prove di laboratorio al fine di determinarne i parametri geotecnici. Le analisi eseguite sono:

- Umidità naturale, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-1,
- Peso di volume naturale, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-2,
- Determinazione dei limiti di Atterberg, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-12,
- Analisi granulometrica, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-4
- Prova di taglio diretto CD, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-10,
- Prova edometrica a gradini di carico costante, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 17892-5

Per le prove sulle rocce sono state eseguite le seguenti analisi:

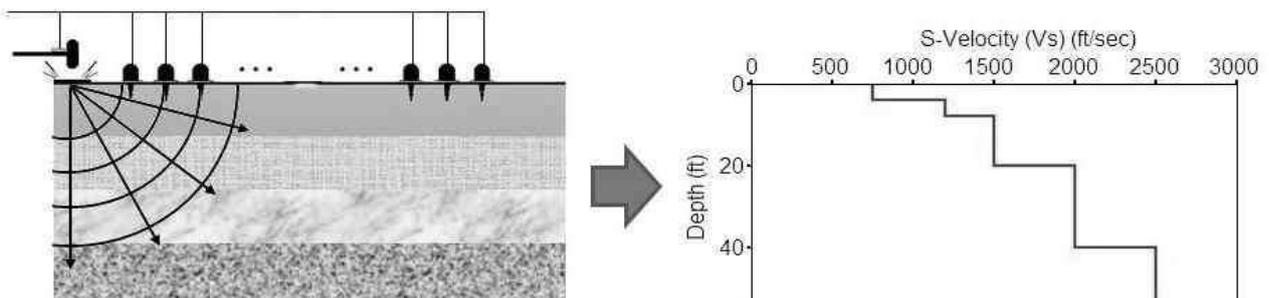
- Peso di volume naturale, secondo la norma Boll. Uff. CNR n. 40
- Point Load Test, secondo la norma ASTM D 5731-95

I dettagli delle analisi sono riportati nei certificati prodotti dal Laboratorio IGETECMA s.n.c. ed allegati alla presente relazione.

### 3.5 INDAGINI GEOFISICHE

#### 3.5.1 MASW

Il metodo di prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una metodologia non invasiva, basata su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999). Tale metodologia di prospezione geofisica del sottosuolo, consente di ottenere un profilo verticale delle Vs, a partire dall'analisi della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh, analizzando anche le modalità di propagazione e la loro velocità a diverse frequenze.



Le onde di Rayleigh, viaggiano con una velocità diversa correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalle onde stesse. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase; questa proprietà è definita come dispersione. E' proprio

questa proprietà dispersiva che viene utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e interessano gli strati più profondi del suolo. La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$  e dalla frequenza. Quindi onde di Rayleigh di diversa lunghezza d'onda forniscono informazioni a diverse profondità del sito investigato.

Le dati sulla velocità delle onde di taglio  $V_s$  rilevate in sito, sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità d'investigazione.

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase sperimentale, detta curva di dispersione apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte più superficiale del suolo; in genere sui primi 30 m. ÷ 50 m. variabili in funzione della rigidità del suolo. La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che le onde S sono parametri di prim'ordine nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Tali onde, campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda stessa e la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato; la forma di questa curva è sostanzialmente influenzata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Perciò, utilizzando apposite convenzioni è possibile stabilire una relazione diretta, ma analiticamente complessa, fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. La relazione che ne consegue, consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità", che fondamentalmente sono rappresentati come Modello Medio e



Modello Migliore; utilizzati poi per giungere alla definizione degli spessori di terreno a diversa  $V_s$ .

Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
2. calcolare della velocità di fase apparente numerica,
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Trigeo Snc ed allegati alla presente relazione.

### 3.5.2 *Analisi dei Microtremori con la tecnica HVSR*

Tale indagine geofisica è molto rapida nell'esecuzione e può essere applicata praticamente ovunque. Il suo vantaggio è che non necessita perforazioni nel sottosuolo, stendimento di cavi ed energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.

Questo metodo d'investigazione costituisce una parte importante nella determinazione del rischio sismico di un sito in quanto permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza del sito. Quest'ultima rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle strutture in termini di risposta sismica locale. Il valore di questo parametro dovrà esser tenuto presente nella realizzazione di nuove strutture, infatti queste non dovranno avere la medesima frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", molto pericolose in caso di sisma.

Ciò che viene registrato con questa indagine sono le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) che sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  mm (Okada, 2003). Rispetto alle frequenze di queste vibrazioni, il rumore sismico che viene registrato, è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze, in genere maggiori di 0.5 Hz.



L'origine di questo rumore sismico sono molteplici come ad esempio le perturbazioni atmosferiche, l'energia data da onde del mare che si propagano sul terreno, le sorgenti di origine antropica come il traffico veicolare, le attività industriali etc. Tutte queste sorgenti, fanno che si generino delle onde superficiali di Rayleigh le quali poi si propagano nel terreno.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- *Spettri di Fourier*
- *Rapporti spettrali*
- *Rapporti spettrali H/V*

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW ) e della componente verticale V.

Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate su singola stazione posta sul terreno. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi ('71) e Shiono et al. ('79), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza, per un determinato sito, si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale dei terreni presenti sul luogo oggetto di studio.

Nel 1989, Nakamura propose il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.



Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri :

- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;*
- ✓ *la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$  e della densità e quindi delle velocità  $V_{s30}$  nei primi 30 m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;*
- ✓ *la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare;*

La configurazione dell'indagine è indicata nei certificati prodotti da Trigeo Snc ed allegati alla presente relazione.

#### 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

In riferimento alle prove penetrometriche statiche e dinamiche (DPSH e SPT), si è proceduto all'elaborazione dei dati acquisiti per giungere alla definizione dei parametri geotecnici, i quali sono stati integrati dalle risultanze delle analisi di laboratorio geotecnico e dalle stratigrafie rilevate durante i sondaggi.

Per le prove dinamiche, in base al numero di colpi  $N$  registrati , si sono definiti tramite correlazioni, i parametri geotecnici attinenti ad ogni strato identificato con tale tipo d'indagine.

Dalle indagini svolte a seconda delle profondità investigate, sono stati discretizzati, quattro orizzonti geotecnici differenti.

Per ciascun orizzonte, sono state definite le peculiarità geotecniche utili alla progettazione.

##### 4.1 CARATTERIZZAZIONE DA INDAGINI PENETROMETRICHE DINAMICHE

L'elaborazione dei dati ottenuti nella verticale penetrometrica dinamiche, ha visto la conversione da  $N_{DPSH}$  a  $N_{SPT}$ ; per far questo sono ricorso al metodo proposto da La Croix e Horn (1973):

$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N_{DPSH}$$

dove:

$W$  = peso del maglio

$H$  = altezza di caduta

$D$  = diametro del cono

$L$  = penetrazione standard

$N_{DPSH}$  = numero colpi misurato nella prova

Successivamente ho provveduto alla normalizzazione del dato  $N_{SPT}$ , da questo al suo valore normalizzato  $N_{60}$  come definito da norma europea EN ISO 22476-3:2002 che prevede:



$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_R$$

dove

$N_{SPT}$  = numero colpi SPT

$C_E$  = correzione del rapporto di energia altezza di caduta con  $C_E = \frac{E_R}{60}$  ed  $E_R$  è il rendimento di battitura della norma ASTM 4633-86

$C_R$  = correzione per la lunghezza delle aste

Il valore ottenuto è stato a sua volta normalizzato per la pressione litostatica con la formula:

$$N_{1(60)} = C_N \cdot N_{60}$$

dove  $C_N$  è il coefficiente di Liao e Whitman (1986) determinato con:  $C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$

#### 4.1.1 *Peso unità di volume*

Determinata con una relazione polinomiale messa a punto da Bruschi A. (1980)

$$\gamma = 98,1 (1,39 + 0,053 N_{60} - 0,0011 N_{60}^2 + 0,0000076 N_{60}^3)$$

#### 4.1.2 *Angolo di resistenza al taglio $\varphi$*

Il valore dell'angolo di attrito è stato determinato tramite la formula indicata da Hatanaka e Hucida (1996, 1998),

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{1(60)}}$$

di Schmertmann (1975),

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,20 + 20,3 \cdot \frac{\sigma'_v}{98,1}} \right)$$

#### 4.1.3 *Coesione non drenata $c_u$*

Questo parametro geotecnico è stato determinato attraverso la relazione di Terzaghi e Peck (1948)

$$c_u = 6,40 \cdot N_{60}$$

e da Bruschi (2004).

$$c_u = 6,50 \cdot N_{60}$$



#### 4.1.4 Modulo edometrico Ed

Valutato mediante la correlazione proposta da Mayne e Frost (1988) per terreni incoerenti

$$M = q_c \cdot 10^{(Q-0,0075 \cdot D_R)}$$

e dalla relazione di Schulze e Menzenbach (1961) per terreni a grana fine.

$$M = 8,25 \cdot (q_c - \sigma' \nu)$$

#### 4.2 R.Q.D. (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Il valore del parametro R.Q.D. è definito come la percentuale di recupero di carotaggio in roccia di spezzoni con lunghezza superiore ai 10 cm rispetto alla lunghezza totale perforata.

$$R.Q.D. (\%) = \frac{\sum \text{Lunghezza spezzoni} \geq 10 \text{ cm.}}{\text{Lunghezza totale del carotaggio}}$$

Sulla base di tale caratterizzazione è possibile stimare la qualità della roccia:

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 ÷ 25	MOLTO SCADENTE
26 ÷ 50	SCADENTE
51 ÷ 75	DISCRETA
76 ÷ 90	BUONA
91 ÷ 100	ECCELLENTE

Dalle stratigrafie svolte dopo la campagna geognostica, si è proceduto al calcolo dell'R.Q.D. nel substrato litoide, ed è quasi sempre risultato  $\neq 0\%$ .

#### 4.3 RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE MONOASSIALE DELLA ROCCIA

Gli spezzoni roccia prelevati dopo il carotaggio sono stati analizzati eseguendo su questi prove di compressione uniassiale. Mentre i campioni di roccia per i quali non è stato possibile eseguire la compressione uniassiale, sono stati sottoposti alla prova di Point Load Test.

Entrambe queste prove sono state usate per determinare la resistenza a compressione della roccia  $\sigma_c$ , valore poi utilizzato per caratterizzare dal punto di vista geotecnico l'ammasso roccioso.

#### 4.4 ANGOLO D'ATTRITO E COESIONE DELL'AMMASSO

I valori di R.Q.D. della roccia sono stati utilizzati, attraverso software dedicati, per la caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso, utilizzando i criteri di classificazione di Bieniawski -1989 ed Hoek-Brown 2002.



#### 4.4.1 Classificazione di Bieniawski

La classificazione di Bieniawski tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione (R6) il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).

$$\text{RMR base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$\text{RMR corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

I parametri sono:

RMR = Rock Mass Rating

R1 (**Co** - Resistenza a compressione monoassiale);

R2 (**RQD%** - Rock Quality Designation);

R3 (**s** - Spaziatura delle discontinuità);

R4 Condizioni dei giunti

R5 Condizioni idrauliche dei giunti

R6 l'orientamento delle discontinuità

Ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale ricavato da abachi a seconda del valore (per RQD%, Co e s) o della condizione idraulica.

Le tabelle seguenti riportano i criteri di determinazione dell'indice RMR:

PARAMETRI		Valori						
Resistenza a compressione uniassiale (Mpa)		> 250	100 - 250	100 - 50	50 - 25	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficiente R1		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Coefficiente R2		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 - 2 m	60 - 20 cm	20 - 6 cm	< 6 cm		
Coefficiente R3		20	15	10	8	5		
Condizioni delle discontinuità		Sup. molto rugosa, non alterata, discont. chiuse non continue	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, poco alterate	Sup. poco rugose, separazione discont. < 1mm, molto alterate	Sup. lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1- 5 mm e continui	Riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui		
Coefficiente R4		30	25	20	10	0		
Condizioni idrauliche	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza (l/min)	nessuna	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Condizioni generali	Asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Venute d'acqua		
Coefficiente R5		15	10	7	4	0		

Orientamento discontinuità		Valori				
Direzione di immersione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Poco favorevole	Sfavorevole	Molto sfavorevole
	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Coefficiente R6	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	-60



Dettagli sulle condizioni delle discontinuità $R4 = A + B + C + D + E$	Valori				
	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Lunghezza discontinuità	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Coefficiente A	6	4	2	1	0
Apertura	nessuna	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Coefficiente B	6	5	4	1	0
Rugosità	Molto rugosa	Rugosa	Leggermente rugosa	Liscia	Levigata
Coefficiente C	6	5	3	1	0
Riempimento	nessuno	Materiale duro < 5 mm	Materiale duro > 5 mm	Materiale tenero < 5 mm	Materiale tenero > 5 mm
Coefficiente D	6	4	2	2	0
Alterazione	Inalterata	Leggermente alterata	Moderatamente alterata	Molto alterata	Decomposta
Coefficiente E	6	5	3	1	0

Classi di qualità dell'ammasso roccioso	Valori				
	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
Coesione (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 200
Angolo d'attrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

I parametri di resistenza e di elasticità sono dedotti dall' $RMR_{base}$  :

- coesione in termini di tensioni efficaci:

$$c' = 5 \cdot RMR_{base} \quad (\text{KPa});$$

- angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci:

$$\varphi' = 5 + RMR_{base} / 2 \quad (^\circ);$$

- modulo di deformabilità:

relazione di Bieniawski (1978)

$$Ed = 2 R RMR_{base} - 100 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} > 50$$

relazione di Serafim Pereira (1983)

$$Ed = 10 ( RMR_{base} - 10) / 40 \quad (\text{Gpa}) \quad \text{con } RMR_{base} < 50$$

#### 4.4.2 Criterio di rottura di Hoek-Brown

Attraverso il parametro G.S.I. ricavato dalla classificazione di Bieniawski è possibile ricavare le grandezze m, s

ed a , necessarie per la definizione del criterio di rottura di Hoek e Brown, secondo la relazione

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left( \frac{m \cdot \sigma_3'}{\sigma_c + s} \right)$$

$\sigma_1'$  è lo sforzo efficace principale massimo alla rottura;



$\sigma_3'$  è lo sforzo efficace principale minimo alla rottura;  
 $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;  
 $m, s$ , sono costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso.

Dall'equazione precedente si derivano le seguenti espressioni dei parametri di resistenza al taglio equivalenti all'involuppo dei cerchi di Mohr:

$$\tau = A \cdot \sigma_c \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_c - \sigma_{tm}}{\sigma_c}\right)}$$

$\tau$  è la tensione di taglio alla rottura;  
 $A$  e  $B$  sono costanti del materiale;  
 $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;  
 $\sigma_n'$  è lo sforzo normale efficace;  
 $\sigma_{tm}$  è la resistenza a trazione pari a:

$$\sigma_{tm} = \frac{\sigma_c}{2} \cdot (m - \sqrt{m^2 + 4s})$$

L'angolo d'attrito istantaneo è dato:

$$\phi_i' = \arctan \left[ A \cdot B \cdot \left( \frac{\sigma_n' - \sigma_{tm}}{\sigma_c} \right)^{B-1} \right]$$

La coesione istantanea è data da:

$$c_i' = \tau - \sigma_n' \cdot \tan' \phi_i'$$

Le costanti  $A$  e  $B$  si ricavano da un'analisi di regressione di un gruppo di valori di  $\tau$  e  $\sigma_n'$  ricavati da prove triassiali:

$$B = \frac{\left[ \sum XY - \sum X \cdot \sum \frac{Y}{n} \right]}{\left[ \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right]}$$

dove:

$$A = 10^{\left( \sum \frac{Y}{n} - B \cdot \sum \frac{X}{n} \right)} \quad - \quad x = \log \left[ \frac{(\sigma_n - \sigma_{tm})}{\sigma_c} \right] \quad - \quad Y = \log \left( \frac{\tau}{\sigma_c} \right)$$

e dove  $n$  è il numero della coppia di valori  $\tau$  e  $\sigma_n'$ ;

Le costanti  $m$  ed  $s$  sono legate all'indice GSI (Geological Strength Index) di Hoek dalle relazioni:

$$m = m_i \cdot e^{\frac{(GSI-100)}{28}}$$

$$\text{con } GSI \geq 25: \quad S = e^{\frac{(GSI-100)}{9}} \quad \text{Con } GSI \geq 25: \quad S = 0$$

con l'indice GSI che si può stimare dall'indice  $RMR_{base}$  di Bieniawski



$$GSI = RMR_{base} - R5 + 15$$

#### 4.5 DETERMINAZIONE PARAMETRI CARATTERISTICI E DI PROGETTO

La normativa vigente impone la definizione dei **parametri caratteristici del terreno  $X_k$**  dai **valori medi  $X_m$**  ricavati dalle indagini geognostiche. Le istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici indicano che nelle valutazioni che il tecnico deve svolgere per pervenire ad una corretta scelta dei valori caratteristici appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai **valori medi** quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, come nel caso di fondazioni superficiali, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità tale a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Le stesse istruzioni indicano invece di fare riferimento ai **valori minimi** quando siano coinvolti modesti volumi di terreno, fondazioni su pali, verifica a scorrimento di un muro di sostegno, con concentrazione del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dagli strati meno resistenti a quelli più resistenti a causa dell'insufficiente rigidità della struttura .

Pertanto nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, devono quindi essere utilizzati i parametri caratteristici opportunamente interpretati come sopra indicato e parametri ridotti, **parametri di progetto  $X_d$** , overosia ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto. La resistenza  $R_d$  è determinata in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza del terreno, divisi per i coefficienti parziali  $\gamma_m$  di seguito riportati nella Tabella 6.2.11 delle NTC 2008

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_m$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Gli orizzonti geotecnici discretizzati come descritto in precedenza, hanno permesso di definire una sequenza stratigrafica come di seguito descritta e riportata nella sezione geotecnica allegata in TAV. 4 :



1. orizzonte più superficiale rappresentato da sabbie con limo e ghiaia;
2. il secondo livello costituito da ghiaie con sabbie e limo;
3. il terzo orizzonte costituito da argilliti e arenarie fratturate ed alterate;
4. il quarto orizzonte, costituito da argilliti ed arenarie fratturate.

Prendendo in considerazione i parametri geotecnici derivanti dalle correlazioni su indicate, analizzando gli stessi in funzione della tipologia dell'intervento prevista ed ai fini della progettazione geotecnica riteniamo corretta la definizione dei seguenti **parametri medi  $X_m$**

LITOLOGIA	Peso Vol. <b><math>\gamma</math></b> t/mc	Ang. Attr. <b><math>\phi</math></b>	Coesione drenata <b><math>c'</math></b> Kg/cmq	Coes nn dren <b><math>C_u</math></b> Kg/cmq	Mod Edom. <b><math>E_d</math></b> Kg/cmq
Sabbia con limo e ghiaie	1,89	33,90	--	0,94	90
Ghiaie con sabbie e limo	1,95	39,90	0,059	0,97	200
Argilliti con arenarie alterate	1,83	32,80	0,02	6,63	300
Argilliti con arenarie fratturate	2,30	34,60	2,19	--	10 GPa

Da cui è possibile definire i seguenti **parametri caratteristici  $X_k$** :

LITOLOGIA	Peso Vol. <b><math>\gamma</math></b> t/mc	Ang. Attr. <b><math>\phi</math></b>	Coesione drenata <b><math>c'</math></b> Kg/cmq	Coes nn dren <b><math>C_u</math></b> Kg/cmq	Mod Edom. <b><math>E_d</math></b> Kg/cmq
Sabbia con limo e ghiaie	1,89	33,05	--	0,83	90
Ghiaie con sabbie e limo	1,95	38,60	0,054	0,86	200
Argilliti con arenarie alterate	1,83	30,30	0,017	3,92	300
Argilliti con arenarie fratturate	2,30	32,26	1,640	--	10 GPa

Di conseguenza i **parametri di progetto  $X_p$**  sono quelli di seguito indicati:

LITOLOGIA	Peso Vol. <b><math>\gamma</math></b> t/mc	Ang. Attr. <b><math>\phi</math></b>	Coesione drenata <b><math>c'</math></b> Kg/cmq	Coes nn dren <b><math>C_u</math></b> Kg/cmq	Mod Edom. <b><math>E_d</math></b> Kg/cmq
Sabbia con limo e ghiaie	1,89	27,50	--	0,59	90
Ghiaie con sabbie e limo	1,95	32,20	0,043	0,61	200
Argilliti con arenarie alterate	1,83	25,10	0,014	2,80	300
Argilliti con arenarie fratturate	2,30	26,79	1,310	--	10 GPa

## 5 CARATTERIZZAZIONE SIMICA DEL SITO D'INTERVENTO

Su indicazione del progettista delle strutture, l'edificio oggetto del presente studio ha le seguenti tipologie del costruito:

### 5.1 VITA NOMINALE DELLA STRUTTURA (VN) (§ 2.4.1 NTC-08)

È intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, che per il caso in esame è la seguente:



Tipi di Costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50

### 5.2 CLASSI D'USO (CU) (§ 2.4.2 NTC-08)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono definite in classi d'uso a cui si associa un coefficiente d'uso  $C_u$  definito al variare della classe d'uso, nel caso esaminato la classe è:

Classe d'uso	Descrizione	$C_u$
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1,0

### 5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO ( $V_R$ ) (§ 2.4.3 NTC-08)

L'azione sismica è valutata in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  dell'opera e allo stato limite SL da verificare, cui è associata una prefissata probabilità di superamento PVR, che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_u$ :

$$V_R = V_N \times C_u$$

Nel caso in esame:

$$V_R = 50 \times 1 = 50$$

### 5.4 STATI LIMITE E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO (§ 3.2.1 NTC-08)

La normativa definisce quattro stati limite, al fine di indicare, in chiave sismica, le prestazioni della costruzione nel suo complesso.

Gli **Stati Limite di Esercizio SLE** sono:

**SLO - Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi

**SLD - Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi



strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli **Stati Limite Ultimi SLU** sono:

**SLV- Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Per ciascuno si definisce una probabilità di superamento  $P_{VR}$ , che rappresenta la probabilità di accadimento, nel periodo di riferimento  $V_R$  di almeno un sisma a tempo di ritorno  $T_R$

Stati Limite		$P_{VR}$ : probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	<b>SLV</b>	<b>10%</b>
	SLC	5%

### 5.5 DEFINIZIONE DEL PERIODO DI RITORNO (§ 3.2.1 NTC-08)

Stabilito il Periodo di Riferimento  $V_R$  e la Probabilità di Superamento per ogni stato limite  $P_{VR}$  e ipotizzando che i terremoti seguano una distribuzione probabilistica di Poisson, si calcola il PERIODO di RITORNO  $T_R$  dell'azione sismica attraverso la formula:

$$T_R = \left[ \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \right]$$

Per il progetto in esame:

$V_R=50$	SLU → SLV → $P_{VR}=10\%$ → $T_R=475$ anni
----------	--

### 5.6 CLASSIFICAZIONE TOPOGRAFICA DEL SITO (§ 3.2.2 NTC-08)

Nella definizione dell'azione sismica di progetto si devono considerare le seguenti categorie topografiche se di altezza > di 30 m.



<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Nel caso in esame si considera:

**Categoria: T1**

Tale valore viene utilizzato per determinare l'amplificazione topografica  $S_T$  in base a quanto indicato nella

Tabella 3.2.VI – NTC-08, dal quale si evince quanto sotto indicato:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
<b>T1</b>	-	<b>1</b>
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

### 5.7 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC-08)

La determinazione di tale parametro, è definita attraverso la misurazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  entro il sottosuolo locale, sino alla profondità  $H$  alla quale è stata rilevata la presenza del substrato rigido, costituito da roccia, con  $V_s > 800$  m/sec. Tale misura rappresenta la velocità equivalente delle onde di tipo  $S$ ; viene calcolata conoscendo gli spessori degli strati e la relativa velocità  $V_{s,eq}$  di propagazione delle onde di taglio di ognuno al di sopra del substrato rigido.

Tale valore è indicato come velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , e si calcola con l'espressione:

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

dove:  $h_i$  rappresentano lo spessore in metri

$V_i$  è la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ esimo, il tutto per un totale di strati presenti nei primi 30 metri di spessore di terreno.

Per la definizione delle velocità della  $V_{s,eq}$  si è utilizzata la prospezione sismica tipo MASW eseguite sulle due



rive del Torrente Archiano. Con questa prospezione geofisica si è identificato il profilo di velocità delle onde di taglio e relativi spessori, quindi si è proceduto al calcolo della velocità equivalente ( $V_{s,eq}$ ) nei livelli con  $V_s < 800$  m/sec. ed infine all'individuazione della categoria sismica del suolo.

Nel profilo risultante in sinistra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate, siano stati individuati 5 diversi strati a differente velocità delle  $V_{sh}$ :

1. un primo strato di circa 5,20 m. di spessore, caratterizzato da una  $V_s$  media di 400 m/s;
2. uno strato di circa 0,50 m. di spessore con  $V_s$  media di 700 m/s;
3. uno strato di circa 1,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 900;
4. uno strato di circa 1,00 m di spessore con  $V_s$  media di 1.100 m/s;
5. oltre da circa 7,70 m. di profondità è stata registrata una  $V_s$  di 1.400 m/s;

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec è stato rilevato ad una profondità di 5,70 metri da p.c. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 416$  m/sec.**

Nel profilo risultante in destra idrografica, si osserva come, esaminando ed elaborando i risultati delle prospezioni effettuate (elaborazione congiunta), siano stati individuati 8 diversi strati a differente velocità delle  $V_{sh}$ :

1. un primo strato di circa 5,20 m. di spessore, caratterizzato da una  $V_s$  media di 425 m/s;
2. uno strato di circa 2,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 700 m/s;
3. uno strato di circa 9,00 m. di spessore con  $V_s$  media di 850;
4. uno strato di circa 5,00 m di spessore con  $V_s$  media di 700 m/s;
5. oltre da circa 21,00 m. di profondità è stata registrata una  $V_s$  di 1.400 m/s;

Dall'indagine geofisica, il substrato sismico con  $V_{sh} > 800$  m/sec è stato rilevato ad una profondità di 21,2 metri da p.c. La velocità equivalente  $V_{s,eq}$ , come definito dalle NCT 18, per tale spessore è pari a:  **$V_{s,eq} = 477$  m/sec.**

on le velocità indicate, in entrambi i casi, il suolo locale è ascrivibile alla categoria B; ma al fine della definizione del tipo di suolo, sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, si evidenziano le seguenti peculiarità:

le indagini geofisiche, hanno messo in luce un contrasto di rigidità sismica tra la copertura avente uno spessore di  $5,70 \div 7,20$  ml. ed il substrato con  $V_s > 800$  m/sec. La determinazione del suolo dalla sola media ponderata della velocità delle onde di taglio non appare corretta; perciò visto che in entrambe le sponde si ha un



elevato contrasto di velocità tra le coperture e il substrato locale, ai fini della valutazione della pericolosità sismica del sito, ritengo di dare una maggiore rilevanza al contrasto d'impedenza sismica tra il substrato sismico e il terreno di copertura.

Dunque ritengo più cautelativo di adottare, per la passerella sul Rio Burlazzo, una categoria di sottosuolo:

**CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: E**

#### 5.8 FREQUENZA DI SITO

Per la sua definizione sono stati utilizzati i dati provenienti dall'analisi HVSR, per questa analisi è stato preso in considerazione il grafico *frequenza (x) ÷ ampiezza del rapporto HV (y)* rilevato sul sito con una registrazione del rumore di fondo del sito di 20 minuti, ottenendo un valore della **frequenza di sito  $f_0$**  pari a:

$$f_0 = 35,00 \pm 0,59 \text{ e } 24,97 \pm 7,07 \text{ Hz}$$

#### 5.9 SISMICITÀ DI RIFERIMENTO SU SUOLO STANDARD

L'attuale zonazione sismica del territorio nazionale, emanata con O.P.C.M. 3519 del 26 aprile 2006, classifica i comuni secondo quattro zone, definite attraverso i valori dell'accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$ :

Zona	$a_g$
1	0,35
2	0,25
3	0,15
4	0,05

La Giunta Regionale Toscana ha approvato, con deliberazione n. 431 del Giugno 2006, la nuova mappa di classificazione sismica del territorio regionale. Per l'area oggetto di studio:

Comune	<b>AREZZO</b>
Zona sismica	<b>2</b>
Accelerazione orizzontale massima al suolo di tipo A	<b><math>a_g = 0.25</math></b>

#### 5.10 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (§3.2 NTC-08)

La Pericolosità Sismica di Base è definita al sito specifico attraverso i seguenti parametri di scuotimento:

- ✓ **accelerazione orizzontale di picco attesa,  $a_g$**  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, su suolo di categoria A, con superficie topografica orizzontale;



- ✓ **lo spettro di risposta elastico** isoprobabile in accelerazione (componente orizzontale) in condizioni di campo libero su sito rigido con superficie topografica orizzontale, definito dai parametri  $F_0$  e  $Tc^*$ , rispettivamente valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione e periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta in accelerazione.

I parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $Tc^*$ , sono definiti in termini probabilistici con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nella vita di riferimento  $V_R$  del manufatto su tutto il territorio nazionale attraverso un reticolo di riferimento dello studio INGV con maglia avente passo  $<10$  Km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni. Il calcolo dello spettro elastico  $Se(T)$  è data dalla seguente relazione:

$$Se(T) = a_g \times S \times \eta \times F_0$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al suolo (PGA);  
 $\eta$  = fattore di smorzamento determinato, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

$\xi$  = espresso in percentuale, è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

$F_0$  = valore massimo dell'amplificazione spettrale  $\leq 2.2$

$S$  = coefficiente di Amplificazione che tiene conto del Coefficiente di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  che dipende dalle categorie di suolo e da Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  che dipende dalla Pendenza attraverso la relazione :

$$S = S_s \times S_T$$

Il coefficiente  $S_s$  si determina con la Tabella 3.2.V sotto riportata:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (Tc^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (Tc^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (Tc^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (Tc^*)^{-0,40}$

Mentre il coefficiente  $C_c$  è utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico è definito come sopra indicato. Entrambi necessari per definire l'amplificazione stratigrafica del sito.

## 6 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Relativamente al sito d'intervento sono stati calcolati gli Input Sismici di Progetto per tutti gli stati limite



Sito in esame: **Passerella sul Rio Burlazzo in località Giovi – Comune di Arezzo - AR**

latitudine:	43,534404
longitudine:	11,860894
Classe d'uso:	2
Vita nominale Vn:	50

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine	Longitudine	Distanza <i>m</i>
Sito1	21177	43,523150	11,835270	2415,3
Sito2	21178	43,524110	11,904230	3676,4
Sito3	20956	43,574100	11,902950	5565,0
Sito4	20955	43,573140	11,833940	4823,9

Le coordinate geografiche sono espresse su Datum ED50

#### 6.1 PARAMETRI SISMICI

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento Vr:	50
Coefficiente d'uso Cu:	1

	Probabilità superamento %	Tr <i>anni</i>	Ag <i>g</i>	Fo	Tc* <i>sec</i>
Operatività (SLO)	81	30	0,056	2,506	0,262
Danno (SLD)	63	50	0,069	2,501	0,273
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,165	2,396	0,299
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,207	2,408	0,309

#### 6.2 COEFFICIENTI SISMICI

	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax <i>m/sec<sup>2</sup></i>	Beta
SLO	1,200	1,440	1,000	0,013	0,007	0,654	0,200
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,807	0,200
SLV	1,200	1,400	1,000	0,048	0,024	1,941	0,240
SLC	1,200	1,390	1,000	0,070	0,035	2,438	0,280



## 7 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§7.11.3 NTC-08)

La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori, quali le condizioni del terreno, inteso come fattore predisponente, e la sismicità del sito, intesa come fattore scatenante.

Il fenomeno della liquefazione riguarda i terreni, ovvero i suoli costituiti da materiale a comportamento granulare in presenza di falda e con terremoti a magnitudo  $M > 5,0$ .

La situazione del sito è stata caratterizzata da presenza al contatto tra letto alluvionale e substrato litoide locale, ed ai sensi del capitolo 7.11.3.4 delle NTC 2008 il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Per quanto riguarda l'intervento in oggetto, le spalle della passerella sul Torrente Solano saranno appoggiate su fondazioni profonde in modo da trasmettere i carichi direttamente sul substrato litoide costituite da pali che trasferiranno i carichi direttamente al substrato lapideo costituito da argilliti e talora arenarie

Pertanto, vista la situazione litostratigrafica si può affermare che i terreni, sui quali andranno a gravare le fondazioni, non sono soggetti al fenomeno di liquefazione.

## 8 REALIZZAZIONE DI SCAVI E RIPORTI

Per la realizzazione dell'intervento in oggetto saranno indispensabili operazioni di scavo a sezione obbligatoria. La natura e le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti consentono, per la rimozione del terreno utilizzo di escavatori meccanici. Il terreno di risulta, previa caratterizzazione chimica, potrà essere riutilizzato in loco per rinterri e riporti, l'eccedenza, se non riutilizzato in loco, dovrà essere smaltita in luoghi idonei e preventivamente autorizzati.

Gli eventuali riporti, dovranno essere realizzati senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto e pendenza dei terreni, provvedendo al compattamento ed inerbimento del terreno stesso ed evitando che abbiano a verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.



Se verranno rinvenuti materiali lapidei di grosse dimensioni dovranno essere separati dal materiale terroso al fine di garantire un omogeneo compattamento ed assestamento dello stesso e potranno essere utilizzati sempre in sito, in condizioni di stabilità ed in modo da non ostacolare il regolare deflusso delle acque superficiali.

I depositi temporanei di materiale terroso e/o lapideo, prodotti durante le fasi di cantiere, dovranno essere realizzati in modo da evitare fenomeni erosivi o di ristagno delle acque. Tali depositi dovranno inoltre essere posti a debita distanza di sicurezza dai fronti di scavo, al fine di evitare sovraccarichi sui fronti stessi.

## 9 CONCLUSIONI

Alla luce delle indagini svolte e dei risultati ottenuti si ritiene che l'intervento edilizio in progetto PASSERELLA SUL RIO BURLAZZO - da eseguire in località Giovi nel Comune di Arezzo – AR, è compatibile con la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e la caratterizzazione geotecnica dell'area a condizione che siano rigorosamente osservate le indicazioni esposte nei paragrafi precedenti.

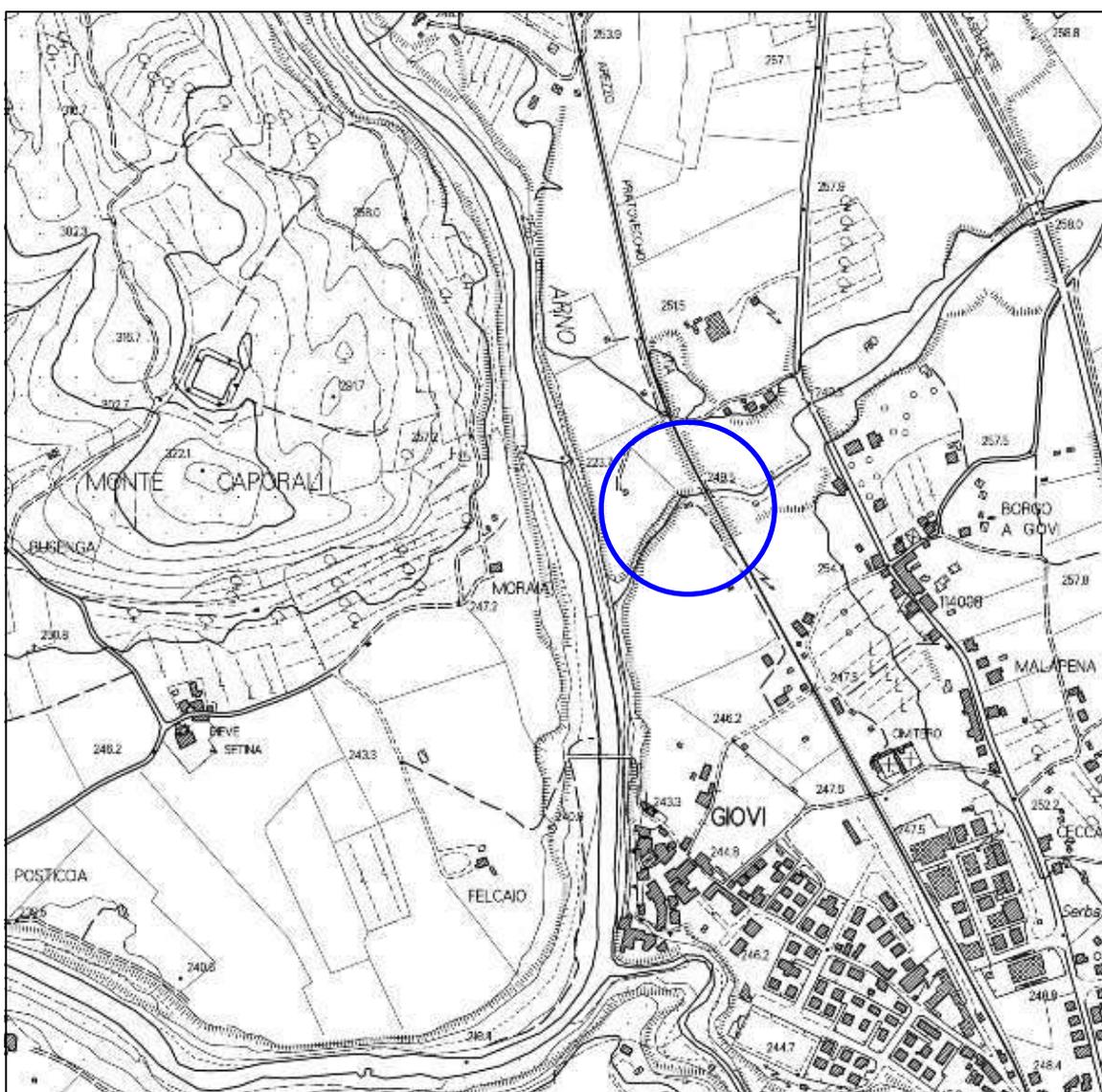
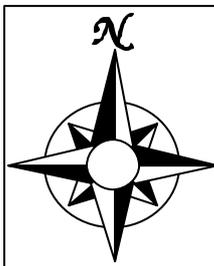
Sarà pertanto sufficiente attenersi alle normali disposizioni legislative. Si ribadisce che il controllo e la gestione del cantiere dovrà essere effettuata dal Direttore dei Lavori e dal Committente, ai quali si rimanda incondizionatamente per quanto riguarda la corretta esecuzione del progetto e la rigorosa osservanza delle indicazioni contenute nella presente relazione.

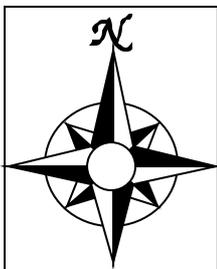
BADIA PRATAGLIA, lì 21/10/2019

Dott. Geol. LUIGI FARINI  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA  
N° 763

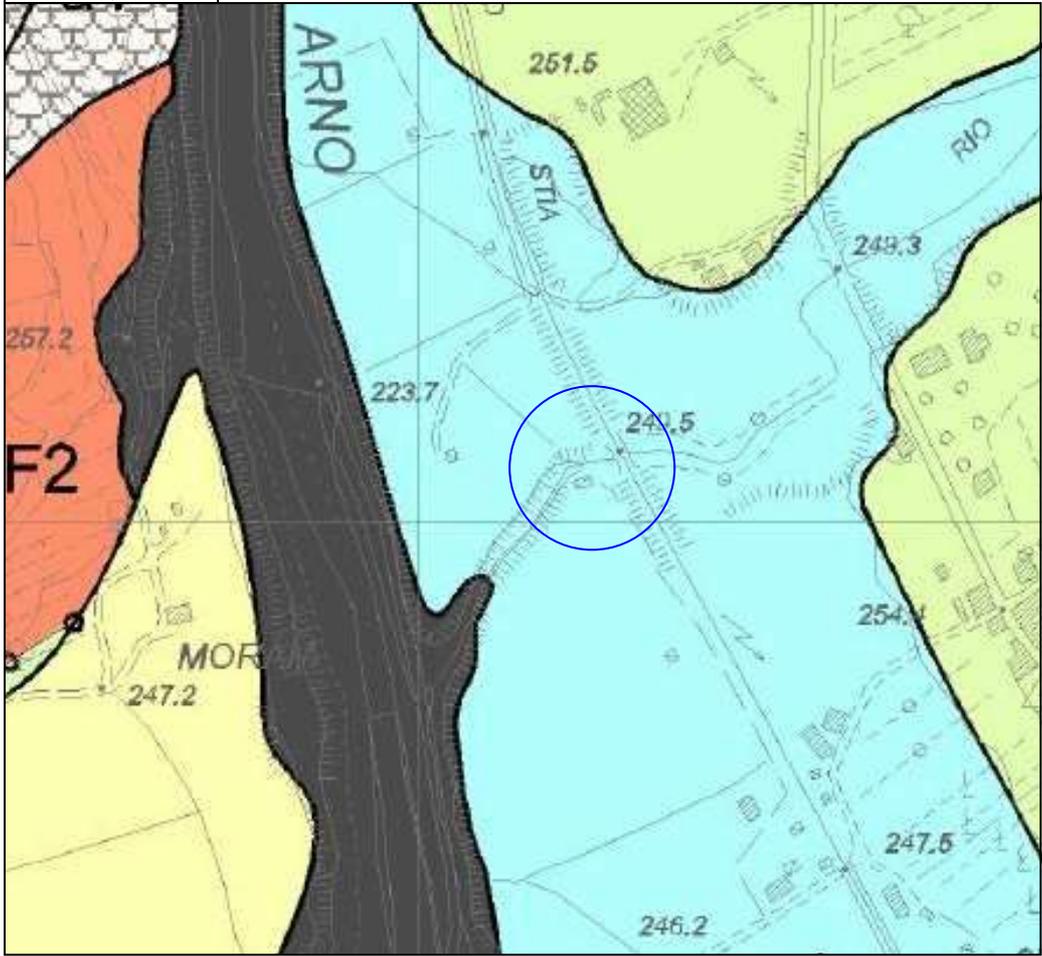


**TAV. 1**  
**INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**  
SCALA 1 : 10.000





**TAV. 2**  
**CARTA GEOLOGICA**  
SCALA 1 : 5.000



**LEGENDA:**

**Depositi continentali post-Villafranchiani**

a a1 - Frana con stato di attività indeterminato (a=frana con movimento indeterminato)

**Depositi Olocenici**

b - Depositi alluvionali attuali

**Depositi Pleistocenici**

bnb - Depositi alluvionali terrazzati

**Sintema del Valdarno Superiore**

**Sub-Sintema di Monticello - Ciuffenna**

SVS4f - Limi di Latereto

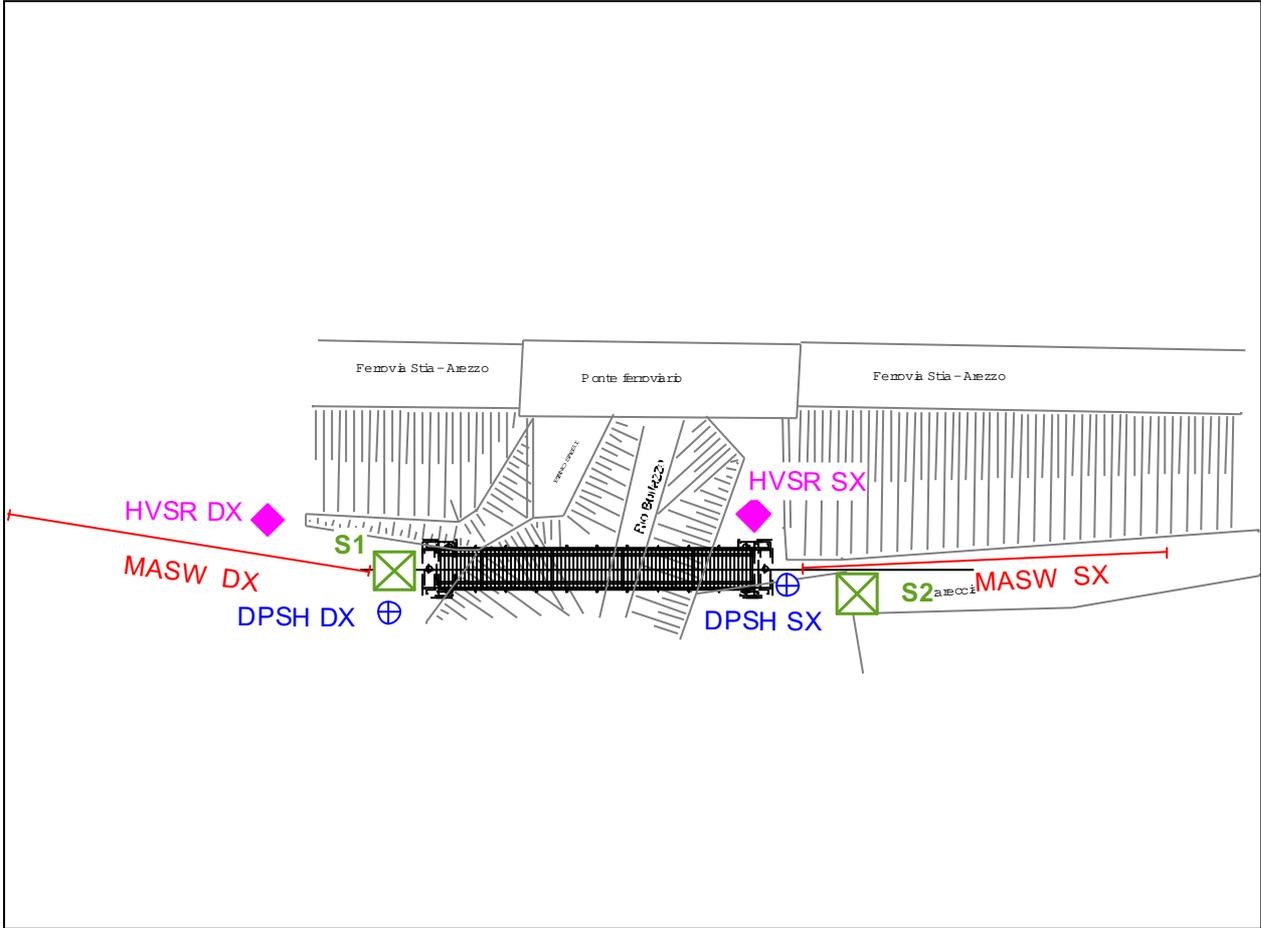
**Dominio Toscano**

**Falda Toscana**

**MAF2 - Membro Intermedio (ARENARIE MONTE FALTERONA)**



**TAV. 3**  
**PLANIMETRIA INTERVENTO CON**  
**UBICAZIONE INDAGINI**  
 SCALA 1 : 200

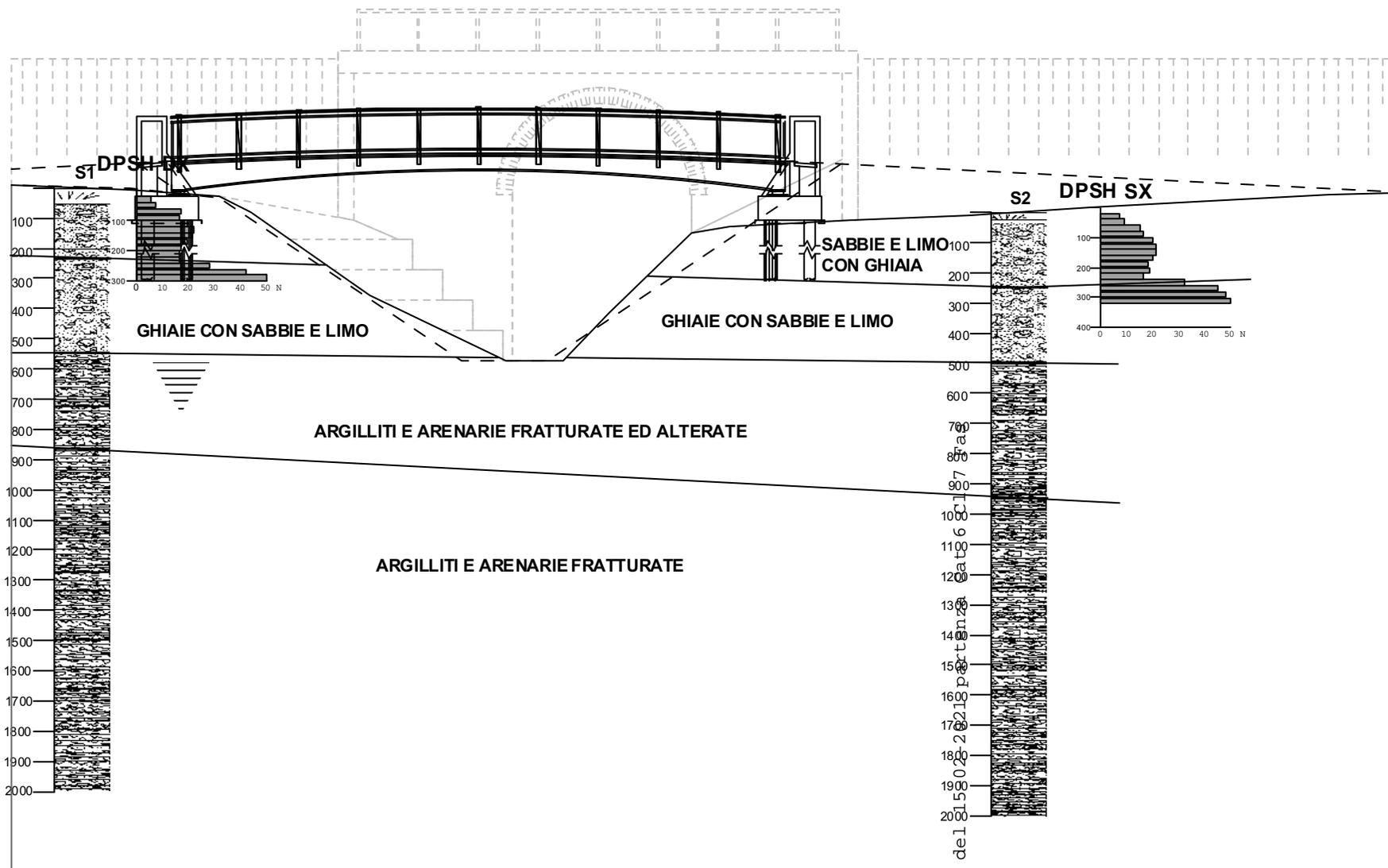


 S3	Sondaggio a carotaggio continuo
DPSH DX ⊕	Indagine geotecnica: prova penetrometrica dinamica DPSH
 MASW	Indagine sismica attiva: Analisi multicanale delle onde superficiali
 HVSR	Indagine sismica passiva: acquisizione e analisi di rumore sismico ambientale

UdCM Casentino Prot 0002808 del 15-02-2021 partenza Cat 6 Cl 7 Fas



**TAV. 4**  
**SEZIONE GEOTECNICA**  
SCALA: 1 :200



NUMERO SEZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DISTANZE PARZIALI		4.00	2.96	1.04	4.00	4.53	1.90	1.57	2.72	1.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	2.09
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	4.00	6.96	8.00	12.00	16.53	18.43	20.00	22.72	24.00	28.00	32.00	36.00	40.00	44.00	46.09
QUOTE TERRENO	245.28	245.14	244.08	244.37	241.08	239.49	239.49	241.08	243.72	243.92	244.12	244.28	244.57	244.76	244.56	245.06
QUOTE PROGETTO		246.00				246.35					246.00					



Prodotto con AutoCAD 2010

**TAV. 5**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI AREZZO**  
**CARTA IDROGEOLOGICA**

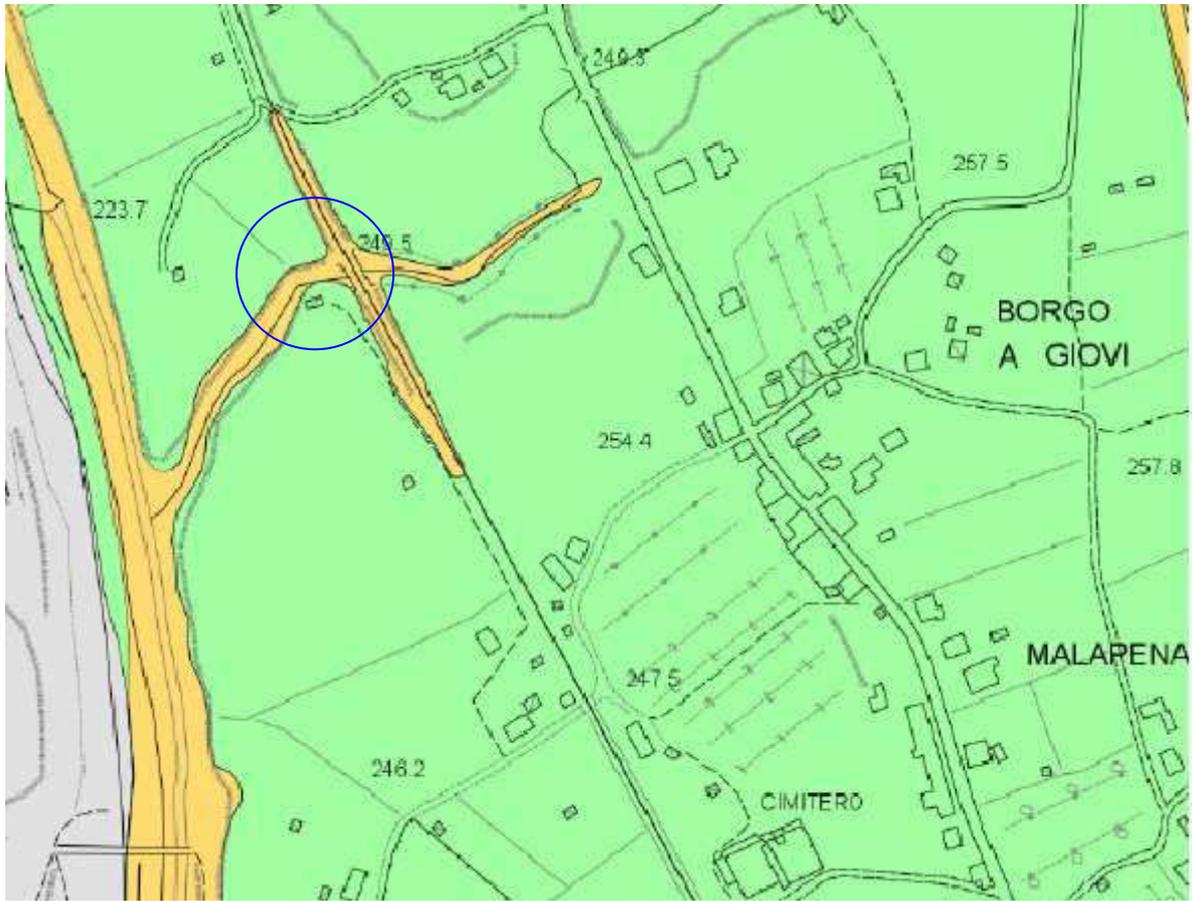


**LEGENDA :**

-  Pozzi
  -  Linee di flusso
  -  Linee di flusso
  -  Isofreatiche (quote assolute al sul livello del mare)
  -  Fiumi e laghi
- Classi di permeabilità
-  permeabilità' elevata
  -  permeabilità' media
  -  permeabilità' medio-bassa
  -  permeabilità' molto bassa



**TAV. 6**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI AREZZO**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA**

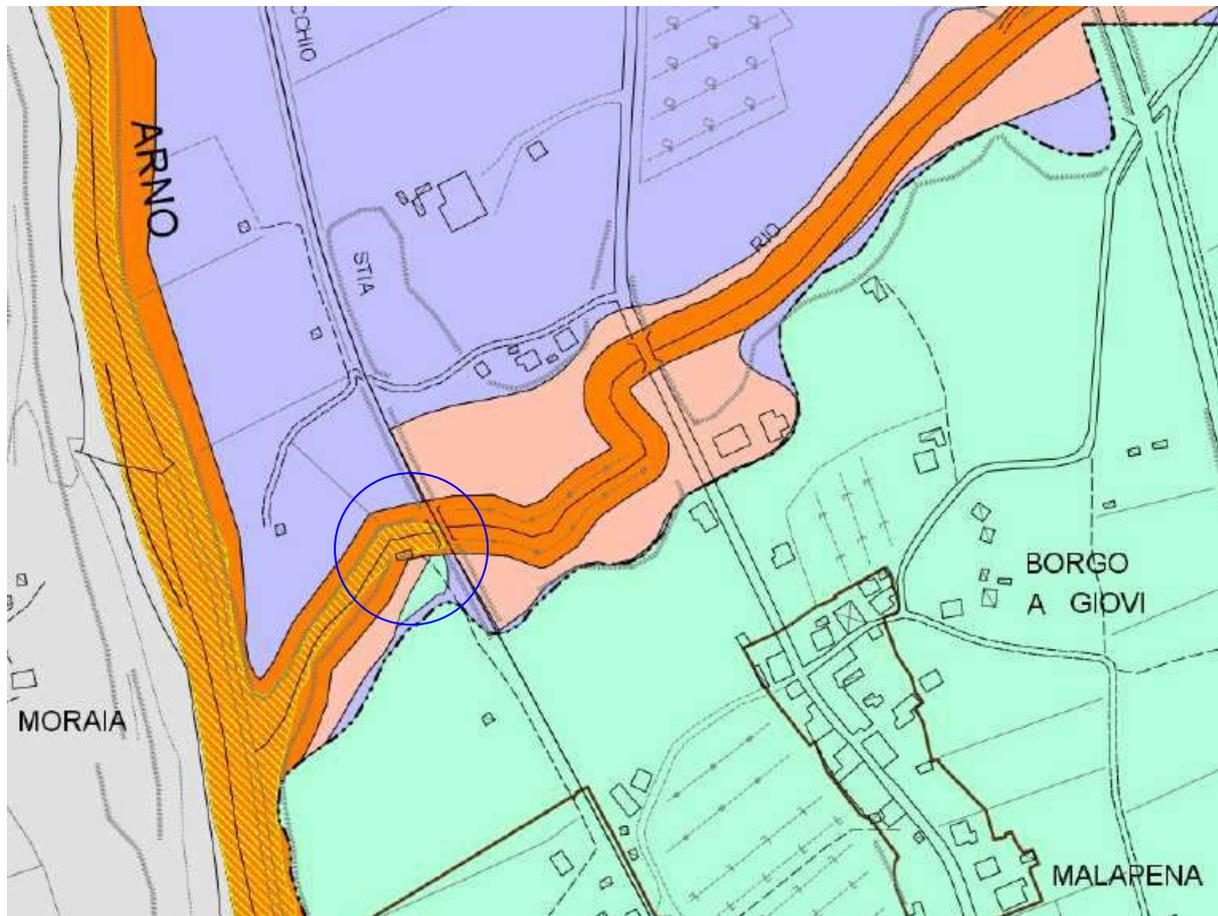


**LEGENDA :**

-  G.1 Pericolosità geomorfologica bassa
-  G.2 Pericolosità geomorfologica media
-  G.3 Pericolosità geomorfologica elevata
-  G.4 Pericolosità geomorfologica molto elevata



**TAV. 7**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI AREZZO**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA**



**LEGENDA :**

-  P1.3 P.A.I. Arno
  -  P1.4 P.A.I. Arno
  -  R4 P.A.I. Tevere
- Pericolosità idraulica**
-  I.1 Pericolosità idraulica bassa
  -  I.2 Pericolosità idraulica media
  -  I.3 Pericolosità idraulica elevata
  -  I.4 Pericolosità idraulica molto elevata
  -  I.4 Pericolosità idraulica molto elevata, tr <= 20
  -  I.4 Pericolosità idraulica molto elevata, tr <= 30



**TAV. 8**  
**ESTRATTO DI PIANO STRUTTURALE**  
**DEL COMUNE DI AREZZO**  
**CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA**



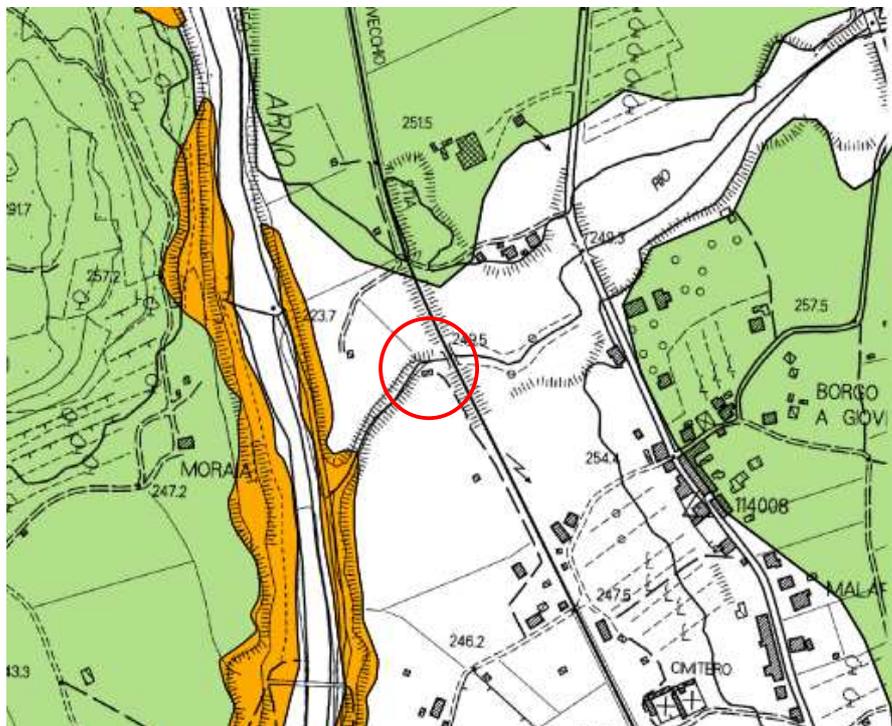
**LEGENDA :**

-  S.1 pericolosità sismica locale bassa
-  S.2 pericolosità sismica locale media
-  S.3 pericolosità sismica locale elevata
-  S.4 pericolosità sismica locale molto elevata



### TAV. 9

**ESTRATTO DEL P.A.I.  
PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME ARNO  
Perimetrazione aree con pericolosità di frana**

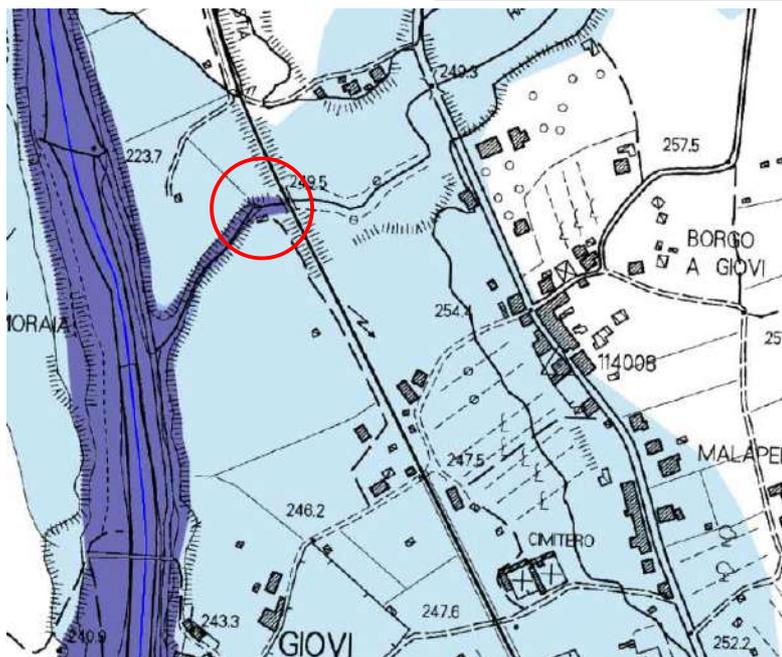


**LEGENDA :**

Livello di sintesi in scala 1:25.000

-  P.F. - NC
-  P.F.1 - Pericolosità moderata
-  P.F.2 - Pericolosità media
-  P.F.3 - Pericolosità elevata

**ESTRATTO DEL P.G.R.A.  
PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DEL FIUME ARNO  
Mappa del Rischio di Alluvione**



**LEGENDA :**

-  P1 - Pericolosità bassa  
(alluvioni rare e di estrema intensità)
-  P2 - Pericolosità media  
(alluvioni poco frequenti)
-  P3 - Pericolosità elevata  
(alluvioni frequenti)



**TAV. 10**

**TABELLA GUIDA PER L'ASSEGNAZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITA'  
GEOMORFOLOGICA - SISMICA  
DEL COMUNE DI AREZZO**

TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/URBANISTICO...	.... in aree di territorio aperto			
	GRADO DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICO/SISMICA			
	1	2	3	4
1) Scavi e rinterrati di qualsiasi genere connessi alle opere di cui al presente abaco	II/I	II	III	IV
2) Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, interventi di conservazione e/o ripristino delle caratteristiche tradizionali del manufatto ed altri interventi che non comportino sovraccarichi sulle fondazioni	I	I	I	I
3) Ampliamenti, sopraelevazioni ed altri interventi che comportino modesti sovraccarichi sulle fondazioni e nuovi modesti carichi	II/I	II	II	III
4) Consistenti ampliamenti e sopraelevazioni, nuovi edifici, demolizione e ricostruzione e altri interventi che comportino nuovi cospicui carichi sul terreno o forti sovraccarichi sulle fondazioni	II/I			IV
5) Verde pubblico attrezzato e aree di sosta (AP1 – AA): a) per le parti a verde; b) per piccoli edifici a servizio.	I II/I	I II	I III	I IV
6) Parchi pubblici e zone destinate a verde pubblico attrezzato e impianti sportivi all'aperto: a) per le parti a verde; b) per sistemazioni esterne e movimenti in terra; c) per edifici di servizio (tribune, spogliatoi, costruzioni accessorie).	I II/I II/I	I II II	I III III	I IV IV
7) Zone destinate a parco fluviale o parco urbano: a) sistemazioni a verde, attrezzature per sport all'aperto e tempo libero; b) per piccoli edifici a servizio.	I II/I	I II	I III	I IV
8) Aree destinate all'ampliamento di sede stradale esistente o alla realizzazione di nuovi brevi tratti di viabilità di ingresso, servizio o per il miglioramento dell'attuale viabilità di accesso a zone destinate all'edificazione.	II/I	III	IV	IV
9) Aree destinate a parcheggi pubblici e/o privati: a) realizzate col mantenimento delle attuali quote b) realizzate con sbancamenti fino a 2.5 m c) realizzate con sbancamenti superiori a 2.5 m o in sotterraneo	II/I II/I II/I	II II II	III III III	IV IV IV
10) Aree a verde privato: a) orti, giardini, fomi, gazebo, pergolati, fontane, pozzi b) garage, parcheggi pertinenziali, box auto	I II/I	I II	I III	I IV
11) Corridoi infrastrutturali fasce di territorio sottoposte a vincolo in funzione di un futuro utilizzo per viabilità principali;	II/I	II	III	IV
12) Aree destinate a piccoli edifici e impianti di servizio (acquedotto, adduzione e distribuzione gas, cabine trasformazioni (ENEL, impianti telefonia satellitare).	II/I	II	II	III
13) Restauro su edifici di valore storico architettonico e culturale, risanamento conservativo su edifici di valore storico (con interventi fino alla ristrutturazione edilizia), ristrutturazione edilizia con rialzamento della copertura per adeguamenti strutturali e/o	I	I	I	I



funzionali				
14) Demolizione senza ricostruzione, ristrutturazione edilizia per adeguamento igienico-sanitario	I	I	I	I
15) Ristrutturazione edilizia con incremento volumetrico, anche tramite completa demolizione e ricostruzione	II/I	II	III	IV
16) Ristrutturazione edilizia con rialzamento di un piano senza aumento di sup. coperta anche mediante demolizione e ricostruzione	II/I	II	III	IV
17) Ristrutturazione edilizia per riorganizzazione e ampliamento dei locali accessori	II/I	II	III	IV
18) Coltivazioni specializzate	I	I	I	I
19) Realizzazione di nuovi edifici rurali ad uso abitativo	II/I	II	III	IV
20) Realizzazione di annessi agricoli, manufatti per alloggio bestiame e trasformazione e conservazione dei prodotti agricoli, ecc.	II/I	II	III	IV
21) Realizzazione di recinti per bestiami: a) senza volumi accessori; b) con volumi accessori (tettoie, scuderie e altri annessi di servizio)	I II/I	I II	I II	I III
22) Realizzazione di serre con copertura permanente e altri manufatti precari utili alla conduzione del fondo	I	II	III	IV
23) Realizzazione di invasi e/o laghetti collinari	II/I	III/II	III	IV
24) Realizzazione di piccoli impianti sportivi, parcheggi interrati e piscine all'aperto	II/I	II	III	IV
25) Depositi GPL	I	I	II/I	III/I
26) Torri antincendio, rimesse per attrezzi e mezzi soccorso antincendio e locali di ristoro	I	II	III	IV
27) Opere di urbanizzazione primaria e secondaria	II/I	II	III	IV
28) Sottopassi e/o sovrappassi	II/I	II	III	IV
29) Acquedotti e/o fognature	I	II	III	IV
30) Sbancamenti e movimenti consistenti di terra, trasformazione di assetti del territorio con modifiche al profilo morfologico; sistemazioni agrarie che comportino movimenti di terra	II/I	III/II	III	IV



## TAV. 11

TABELLA GUIDA PER L'ASSEGNAZIONE DELLE CLASSI DI FATTIBILITÀ IDRAULICA  
DEL COMUNE DI AREZZO

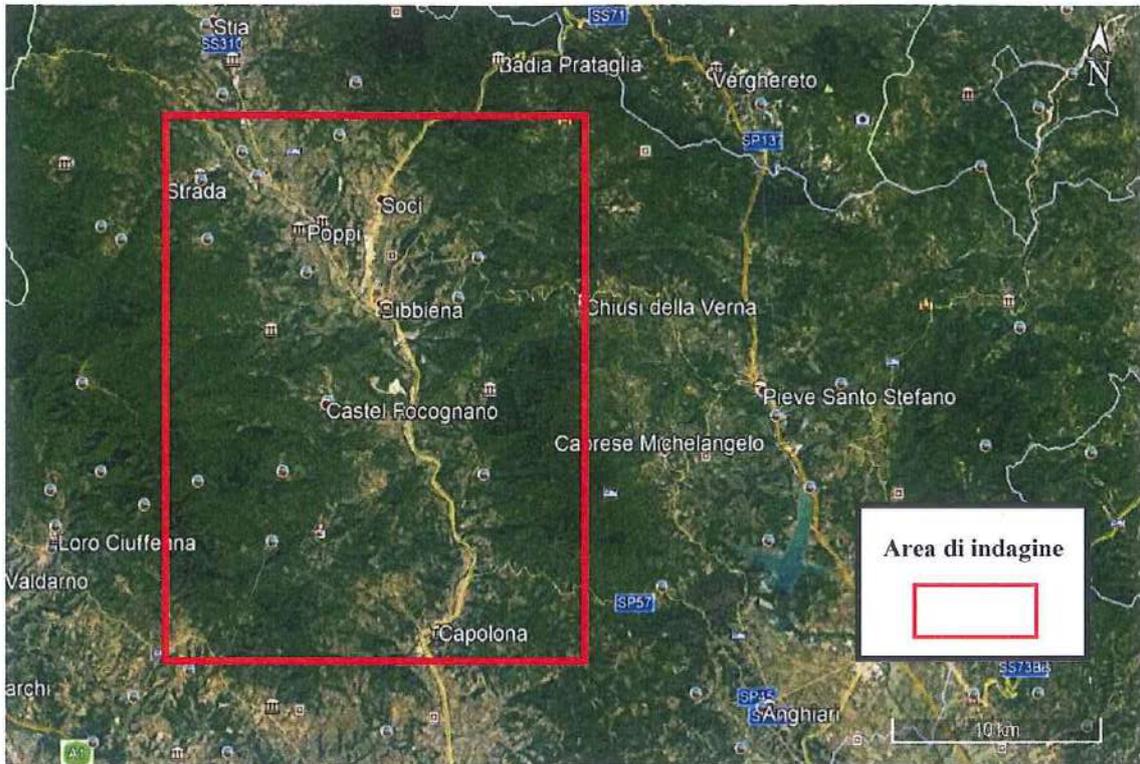
TIPO DI INTERVENTO: EDILIZIO/URBANISTICO...	.... in aree di territorio aperto			
	GRADO DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA			
	1	2	3	4
<b>INTERVENTI SUL PATRIMONIO EDILIZIO E SISTENTE</b>				
Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, interventi di conservazione e/o ripristino delle caratteristiche tradizionali del manufatto, ristrutturazione edilizia senza ampliamenti e senza aumento del carico urbanistico.	I	I	I	I
Ristrutturazione edilizia senza ampliamenti di superficie coperta e volumetria, con aumento del carico urbanistico.	I	I	III	IV
Demolizione senza ricostruzione.	I	I	I	I
Demolizione e ricostruzione, ristrutturazione urbanistica senza aumento di volumetria e superficie coperta.	I	II	III	IV
<b>NUOVI INTERVENTI</b>				
Nuovi edifici, parcheggi, viabilità, ampliamenti di superficie coperta e volumetria anche con intervento di ristrutturazione urbanistica.	I	II	III	
Riparti	I	II	III*	III*
Corridoi infrastrutturali destinati alla realizzazione di nuova viabilità	I	II	III	IV
Impianti sportivi e verde pubblico attrezzato senza nuove volumetrie.	I	I	II	III
Scavi e sbancamenti.	I	I	I	I

\* in tal caso si dovrà provvedere mediante compensazioni delle volumetrie esondate, valutate sul battente per tempo di ritorno  $T_r$  200 anni, in modo tale che sia dimostrato che tali interventi non determinino un aumento della pericolosità idraulica del contesto territoriale circostante.



INDAGINI GEOGNOSTICHE:  
STRATIGRAFIA SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO  
PROVE PENETROMETRICHE E DINAMICHE





Lavoro:

## LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Commessa N°: <p style="text-align: center;">082S-2019</p>	Elaborato: <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO</b></p>	
Rev: <p style="text-align: center;">1.1</p>	Committente:  <b>UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO</b>	
Redazione: 		Verifica: 
Approvazione: 		Consegnato:
Ns. Rif:	Timbro: <b>CAM PERFORAZIONI S.r.l.</b> Unipersonale Viale Vanzolini 38 61121 PESARO (PU) Cod. Fisc. e P. IVA 01511320432	Firma: 

Proprietà riservata. Riproduzione anche parziale consentita solo previa autorizzazione scritta



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:

RAPPORTO TECNICO

Committente:

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 2 di 17

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROVE PENETROMETRICHE.....</b>	<b>7</b>
2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH .....	7
2.1.1 CORRELAZIONE $N_{SPT}$ .....	8
2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA .....	8
2.1.3 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE .....	9
2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI .....	9
2.1.5 RESTITUZIONE DATI .....	10
2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT.....	10
2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE.....	11
2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI .....	12
2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (AUTORI DI RIFERIMENTO UTILIZZATI):.....	12
<b>3 SONDAGGIO GEOTECNICO .....</b>	<b>13</b>
3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO .....	14
3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE .....	15
3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO .....	15
3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST) .....	15

## APPENDICE

- Tavola 1: Ubicazione indagini (loc. Archiano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Archiano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Archiano)
  
- Tavola 2: Ubicazione indagini (loc. Corsalone)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Corsalone)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Corsalone)
  
- Tavola 3: Ubicazione indagini (loc. Solano)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Solano)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Solano)
  
- Tavola 4: Ubicazione indagini (loc. Burlazzo)
- Stratigrafia sondaggi e documentazione fotografica (loc. Burlazzo)
- Elaborati prove penetrometriche (loc. Burlazzo)

## 1. PREMESSA

Il presente Rapporto Tecnico illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche eseguita su incarico della committenza UNIONE DEI COMUNI MONTANI DEL CASENTINO in varie località situate lungo il tratto del fiume Arno Casentino.

La campagna di indagine è stata svolta secondo il seguente programma:

- Esecuzione di **n° 8** prove penetrometriche dinamiche "DPSH" e statiche "CPT", come indicato nella tabella seguente:

Località	Profondità (m)	Data
ARCHIANO DX	5,40(DPSH)	28/08/2019
ARCHIANO SX	6,60(DPSH)	28/08/2019
CORSALONE DX	2,80(CPT)/6,20(DPSH)	27/08/2019
CORSALONE SX	6,60(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO DX	3,00(DPSH)	27/08/2019
BURLAZZO SX	3,20(DPSH)	27/08/2019
SOLANO DX	2,80(DPSH)	26/08/2019
SOLANO SX	1,80(DPSH)	26/08/2019

Tab.1 – Elenco delle prove penetrometriche

- Esecuzione di **n° 8** sondaggi a carotaggio secondo la seguente tabella:

Sondaggio n.	Località	Profondità (m)	Data
S1 (DX)	Archiano	20.00	27-28/08/2019
S2 (SX)		20.00	06-07/08/2019
S1 (DX)	Corsalone	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	31/08 - 03/09 /2019
S1 (DX)	Burlazzo	20.00	28-29/08/2019-
S2 (SX)		20.00	02-03/09/2019
S1 (DX)	Solano	20.00	30-31/08/2019
S2 (SX)		20.00	29/08/2019

Tab.2 – Elenco sondaggi geognostici

- esecuzione di **n°25** prove SPT in foro, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Prova	Prof. (m)	n° colpi	Punta Chiusa/ Punta Aperta
S1 Archiano DX	SPT1	3.00-3.35	22-38-R(5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.25	28-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.40	24-43-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.25	18-R (10cm)	Punta Chiusa
S2 Archiano SX	SPT1	4.00-4.20	17-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	24-35-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.80-10.00	39-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	13.00-13.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Corsalone DX	SPT1	3.00-3.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.04	R (4cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.05	R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.19	42-R (4cm)	Punta Chiusa
S2 Corsalone SX	SPT1	3.00-3.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT2	6.00-6.10	R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Burlazzo DX	SPT1	3.00-3.20	46-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.10	R (10cm)	Punta Chiusa
	SPT3	12.00-12.20	36-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Burlazzo SX	SPT1	3.00-3.45	15-18-32	Punta Aperta
	SPT2	6.15-6.55	18-42-R (10cm)	Punta Chiusa
S1 Solano DX	SPT1	4.00-4.20	41-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT2	7.00-7.35	22-38-R (5cm)	Punta Chiusa
S2 Solano SX	SPT1	3.00-3.45	10-13-15	Punta Aperta
	SPT2	6.00-6.35	27-42-R (5cm)	Punta Chiusa
	SPT3	9.00-9.28	40-R (13cm)	Punta Chiusa
	SPT4	12.00-12.40	27-38-R (10cm)	Punta Chiusa

Tab.3 – Elenco prove SPT eseguite.

- prelievo di n°46 campioni rimaneggiati, come indicato nella tabella seguente:

Sondaggio n.	Campione n.	Prof. (m)	data
<b>S1 Archiano DX</b>	CRSPT1	3.00-3.35	27/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.25	27/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.40	27/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.25	27/08/2019
	CR1	15.40-15.90	28/08/2019
	CR2	19.00-19.50	28/08/2019
<b>S2 Archiano SX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	06/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	06/08/2019
	CRSPT3	9.80-10.00	06/08/2019
	CRSPT4	13.00-13.10	06/08/2019
	CR1	16.50-16.70	07/08/2019
<b>S1 Corsalone DX</b>	CRSPT1	3.00-3.05	30/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.04	30/08/2019
	CRSPT3	9.00-9.05	30/08/2019
	CRSPT4	12.00-12.19	30/08/2019
	CR1	17.60-18.00	31/08/2019
	CR2	19.50-20.00	31/08/2019
<b>S2 Corsalone SX</b>	CRSPT1	3.00-3.40	31/08/2019
	CRSPT2	6.00-6.10	31/08/2019
	CR1	9.50-9.80	31/08/2019
	CR2	14.40-14.80	03/09/2019
	CR3	16.00-16.40	03/09/2019
<b>S1 Burlazzo DX</b>	CRSPT1	3.00-3.20	28/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.10	28/08/2019
	CR1	8.60-8.80	28/08/2019
	CRSPT3	12.00-12.20	29/08/2019
	CR2	15.60-16.00	29/08/2019
	CR3	17.60-18.00	29/08/2019
<b>S1 Burlazzo SX</b>	CRSPT1	3.00-3.45	02/09/2019
	CRSPT2	6.15-6.55	02/09/2019
	CR1	9.50-10.00	03/09/2019
	CR2	14.00-14.30	03/09/2019
	CR3	15.70-16.00	03/09/2019
	CR4	19.70-20.00	03/09/2019
<b>S1 Solano DX</b>	CRSPT1	4.00-4.20	30/08/2019
	CRSPT2	7.00-7.35	30/08/2019
	CR1	10.70-11.00	30/08/2019
	CR2	15.00-15.40	30/08/2019
	CR3	17.40-17.80	31/08/2019
	CR4	19.50-20.00	31/08/2019

<b>S2 Solano SX</b>	<b>CRSPT1</b>	3.00-3.45	29/08/2019
	<b>CRSPT2</b>	6.00-6.35	29/08/2019
	<b>CRSPT3</b>	9.00-9.28	29/08/2019
	<b>CRSPT4</b>	12.00-12.40	29/08/2019
	<b>CR1</b>	15.30-15.70	29/08/2019
	<b>CR2</b>	17.00-17.50	29/08/2019

Tab.4 – Elenco campioni rimaneggiati.

Le carote di terreno prelevate durante l'esecuzione dei sondaggi sono state riposte in apposite cassette catalogatrici a scomparti, delle quali è stato redatto un rapporto stratigrafico e fotografico, riportato in appendice.

Negli allegati che seguiranno sono inoltre riportate le restituzioni numeriche e grafiche delle prove in sito eseguite.

## 2. PROVE PENETROMETRICHE

### 2.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento per tratti consecutivi di lunghezza standard.

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

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consentono di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una parametrizzazione per la caratterizzazione stratigrafica.

Tale parametrizzazione, ricavata da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattata con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche del presente rapporto, è stato utilizzato un penetrometro "PAGANI" TG 63- 200 kN, con le seguenti caratteristiche:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75m
Peso sistema di battuta	0,63Kg
Diametro punta conica	51,00mm
Area di base punta	20,43cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	90°
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	6,31Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40m
Avanzamento punta	0,20m
Numero colpi per punta	N <sub>(20)</sub>
Coeff. Correlazione	1,472
Rivestimento/fanghi	No

### 2.1.1 CORRELAZIONE N<sub>spt</sub>

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<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>.

Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> 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.
- d passo di avanzamento.

### 2.1.2 VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA ALLA PUNTA

*Formula Olandesi*

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

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

### 2.1.3 METOLOGIA DI ELABORAZIONE

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

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981). Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

### 2.1.4 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORREZIONI

#### • **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato).

#### • **Pressione ammissibile**

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

### 2.1.5 RESTITUZIONE DATI

La restituzione dei dati di campagna, contempla una prima tabella con indicati la profondità, il numero dei colpi per l'avanzamento caratteristico di 20 cm, il coefficiente di riduzione caratteristico e le relative resistenze dinamiche. Alla tabella numerica segue una parametrizzazione indicativa determinata sulla base di una suddivisione in strati omogenei per numero di colpi sui quali vengono determinati i principali parametri geotecnici.

### 2.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

La prova penetrometrica statica viene realizzata infiggendo nel terreno la speciale punta "Begemann" avente le seguenti caratteristiche geometriche:

DIAMETRO DELLA PUNTA	35.7 m
ANGOLO DI APERTURA DEL CONO	60°
AREA DI BASE DEL CONO	10 cm <sup>2</sup>
DIAMETRO DEL MANICOTTO D'ATTRITO	36 mm
SUPERFICIE LATERALE MANICOTTO	150 cm <sup>2</sup>

Detta punta penetra mediante una pressione del gruppo di spinta idraulica del penetrometro, alla velocità standardizzata di 2 cm/sec, ed è raccordata mediante una filettatura conica ad una serie di aste  $\Phi=36 \times 1000$  mm, che alloggiato al loro interno una serie di astine  $\Phi=15$  mm.

Tramite l'utilizzo di un selettore composto da una cella di carico e da una centralina elettronica digitale, si acquisiscono i valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta ( $Q_c$ ) e allo scorrimento contemporaneo del manicotto di frizione e del corpo punta (sforzo totale  $Q_t$ ).

La cella di carico è dotata di un trasduttore estensimetrico in grado di convertire lo sforzo di spinta in un segnale elettrico, che opportunamente condizionato e amplificato, viene visualizzato sul display digitale della centralina di acquisizione sopra menzionata.



Lavoro:

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Elaborato:

RAPPORTO TECNICO

Committente:

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 11 di 17

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta

Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto

Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

## 2.2.1 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP** ) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico, che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$A_p$  = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann" ) = 10 cm<sup>2</sup>

$A_m$  = area del manicotto di frizione = 150 cm<sup>2</sup>

$C_t$  = costante di trasformazione = 10

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza alla punta**

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza laterale**

$Q_c (RP)$  = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Superficie Punta  $A_p$

$Q_l (RL) (fs)$  = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct /  $A_m$  area del manicotto di frizione.

La resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto alla quota della prima lettura della punta.

**N.B.**

$$A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

## 2.2.2 VALUTAZIONI STATISTICHE E CORRELAZIONI

- **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato il valore della media aritmetica dello strato.

- **Correlazioni**

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

## 2.2.3 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento utilizzati):

Begemann 1965 (consigliato per CPT)

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 13 di 17

### 3 SONDAGGIO GEOTECNICO

Il sondaggio geotecnico a "carotaggio continuo" consiste nella perforazione a rotazione in terreno e nella descrizione della stratigrafia con modalità ed osservazioni tali da consentire una caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati.

Si definisce sondaggio geotecnico una perforazione caratterizzata dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio continuo e rappresentativo del terreno attraversato;
- descrizione stratigrafica a carattere geotecnico dei terreni attraversati;
- prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche o geomeccaniche in foro;
- determinazione del livello piezometrico della falda, se presente;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

### 3.1.1 ATTREZZATURE DI PERFORAZIONE E PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata utilizzata una sonda a rotazione CMV MK 600D carrocingolata, aventi le seguenti caratteristiche:

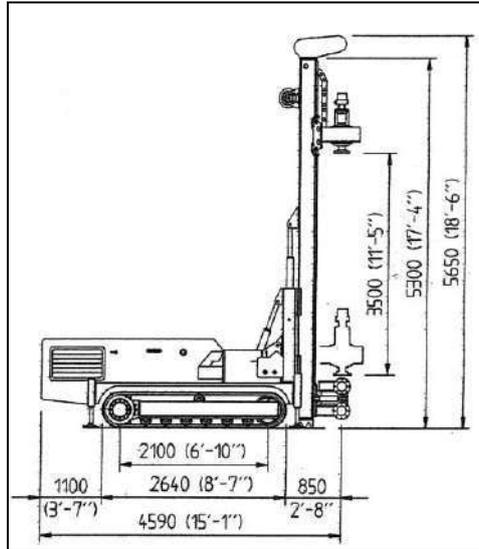


Fig.1 – Sonda perforatrice tipo "CMV MK 420 F"

<b>SOTTOCARRO</b>	type	BERCO		
Lunghezza	mm	2540	(8'-7")	
Larghezza	mm	1800	(5'-10")	
Pattini	mm	300	(11")	
Rulli	no.	6		
Stabilizzatori	no.	4		
<b>MOTORE DIESEL</b>	type	Deutz F4L 912		
Potenza	Sbp	75		
Insonorizzazione	dB	70		
Serbatoio carburante	lt	90	(gal. 23)	
Serbatoio olio idraulico	lt	290	(gal. 76)	
<b>MAST</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Lunghezza	mm	5300 (17)	3800 (12')	2100 (7')
Corse tavola rotary	mm	3500 (11')	2200 (7')	1150 (4')
Spinta sull'unitaria	kg	1500	(lb. 3307)	
Forza di estrazione	kg	2500	(lb. 5512)	
Traslazione verticale	mm	700	(2'-3")	
<b>MORSE</b>				
Morsa di bloccaggio dia.	mm	60/220	(2'-9")	
Morsa sviatrico dia.	mm	60/220	(2'-9")	
<b>ARGANO</b>				
Capacità tamburo	m	65	(213')	
<b>TAVOLA ROTARY</b>				
Coppia	kgm	100 - 600	(lb.ft 723 - 4340)	
Velocità Min. - Max.	rpm	342 - 32		
Passaggio testa di adduzione	inch	2"		
Hydraulic	mm	450	(18")	
<b>PESO TOTALE</b>	kg	9000	(lb. 19845)	
<b>APPLICAZIONI</b>				
Top hammer (drifter)	type	Knupp HB 20A		
Colpi al minuto	min-1	2800		
<b>Jet Grouting</b>				
Profondità max.	m	11	(36')	
Diametro aste	mm	60-76	(2'-3")	
Timer	type	Digital		
<b>ACCESSORI</b>				
Lubrificazione di linea	lt	17	(gal 5)	
Pompa acqua	l/min - bar	120 - 20	(gal 31 - 290 psi)	
Pompa schiumogeni	l/min - bar	30-30	(gal 15 - 435 psi)	
Pompa scartabiatrice	l/min - bar	15-150	(gal 4 - 2175 psi)	

Fig.2 - tabella caratteristiche tecniche sonda perforatrice tipo "CMV MK 600F"

**Lavoro:**

LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO.2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Elaborato:**

RAPPORTO TECNICO

**Committente:**

UNIONE DEI COMUNI MONTANI  
DEL CASENTINO

vers.:1.1

Commessa n°  
082S-2019

Pag. 15 di 17

### 3.1.2 UTENSILI DI PERFORAZIONE

Le perforazioni sono state eseguite a rotazione a "carotaggio continuo", utilizzando in funzione dei terreni da campionare carotieri di tipo semplice e carotieri T6S con corone al widia. Il preforo è stato rivestito con tubazione provvisoria Ø 127mm.

Il tipo di utensile adottato per ogni sondaggio è stato specificato nelle stratigrafie allegate.

## 3.2 PROVE GEOTECNICHE IN FORO DI SONDAGGIO

### 3.2.1 PROVE "SPT" (STANDARD PENETRATION TEST)

Le prove di resistenza alla penetrazione "SPT" sono state eseguite secondo le modalità indicate dalle "Raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana" del 1977.

Tali prove si eseguono preferibilmente in terreni granulari (sabbie e ghiaie fini), tuttavia si possono eseguire in qualsiasi terreno sciolto e su alcune rocce tenere allo scopo di determinare grado di addensamento / consistenza / resistenza.

Si riassumono brevemente le caratteristiche tecniche della prova "SPT":

Campionatore:

- Raymond di diametro esterno 51 mm, diametro interno 35 mm, lunghezza minima 457 mm, con scarpa standard a punta aperta come utensile di penetrazione
- punta conica chiusa di diametro esterno 51 mm e angolo di 60°

Aste collegate al campionatore di diametro esterno 50 mm e peso di 7.5 kg al metro lineare

Dispositivo di battuta avente peso non superiore a 115 Kg, comprende:

- testa di battuta in acciaio avvitata all'estremità della batteria di aste
- massa battente o maglio di 63.5 kg
- dispositivo di guida e rilascio del maglio, a sganciamento automatico, che assicura una corsa a caduta libera di 76 cm.

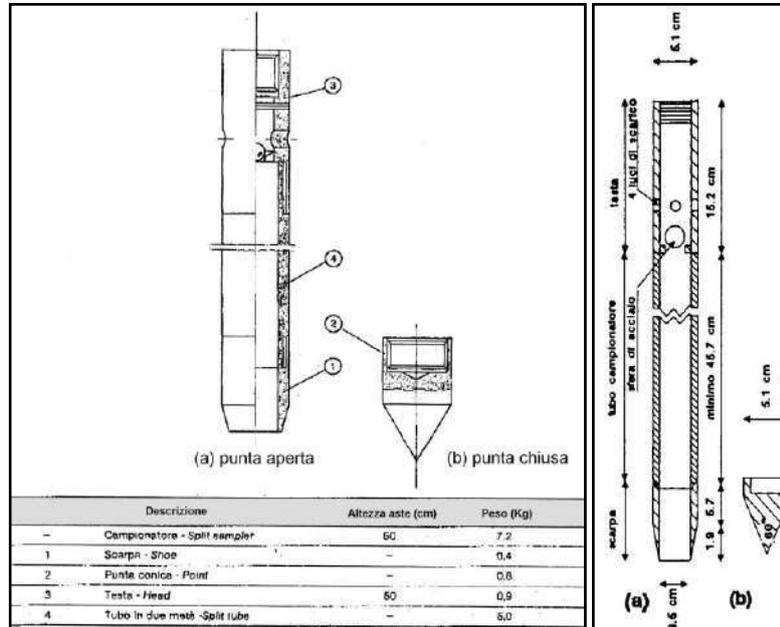


Fig.3 – Campionatore a punta aperta (a) - a punta chiusa (b).

Ogni determinazione di prova è stata preceduta dalla pulizia del fondo foro con verifica della coincidenza della quota di attestazione della punta con profondità misurata dopo la pulizia del foro (tolleranza di +/- 7 cm); la prova consiste nel fare penetrare il campionatore posato al fondo foro per tre tratti successivi di 15 cm registrando ogni volta il numero dei colpi necessari (N1, N2, N3).

Con il primo tratto detto avviamento si intende superare la zona di terreno rimaneggiato in fase di perforazione. Nel caso di un terreno molto addensato con N1 = 100 ed avanzamento minore di 15 cm l'infissione deve essere sospesa: la prova dichiarata conclusa in base alle raccomandazioni AGI 1977 e si annota la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento viene superato si conteggiano N2 e N3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm) fino ad un limite complessivo di 100 colpi (N2+N3) raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Pertanto il parametro caratteristico della prova, prescindendo dai casi particolari di rifiuto è:

$$N_{spt} = N2 + N3$$

che esprime il numero di colpi caratteristico per 30 cm utili di perforazione.

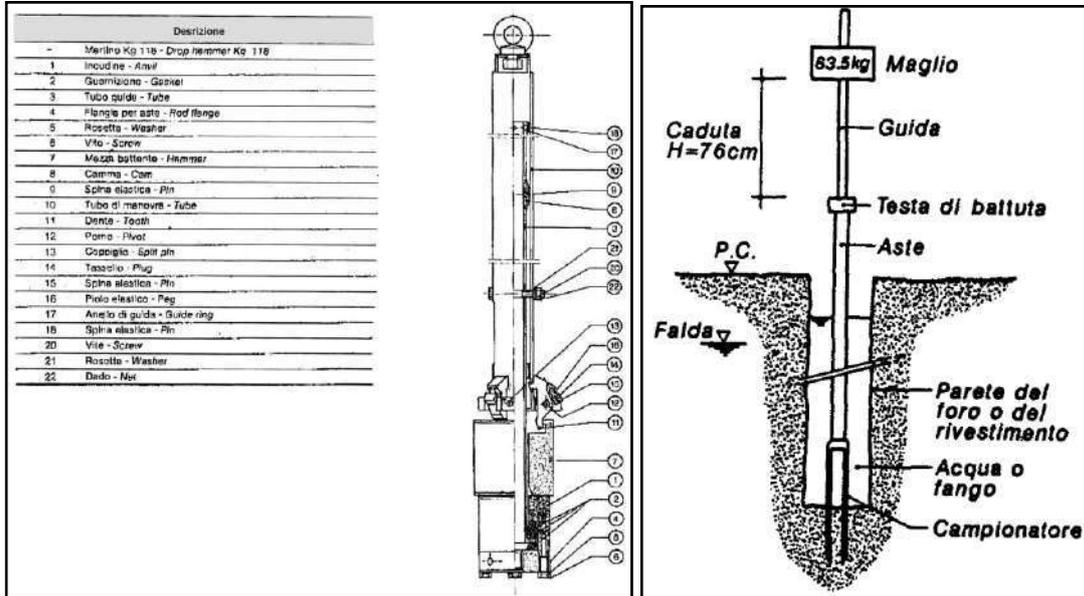
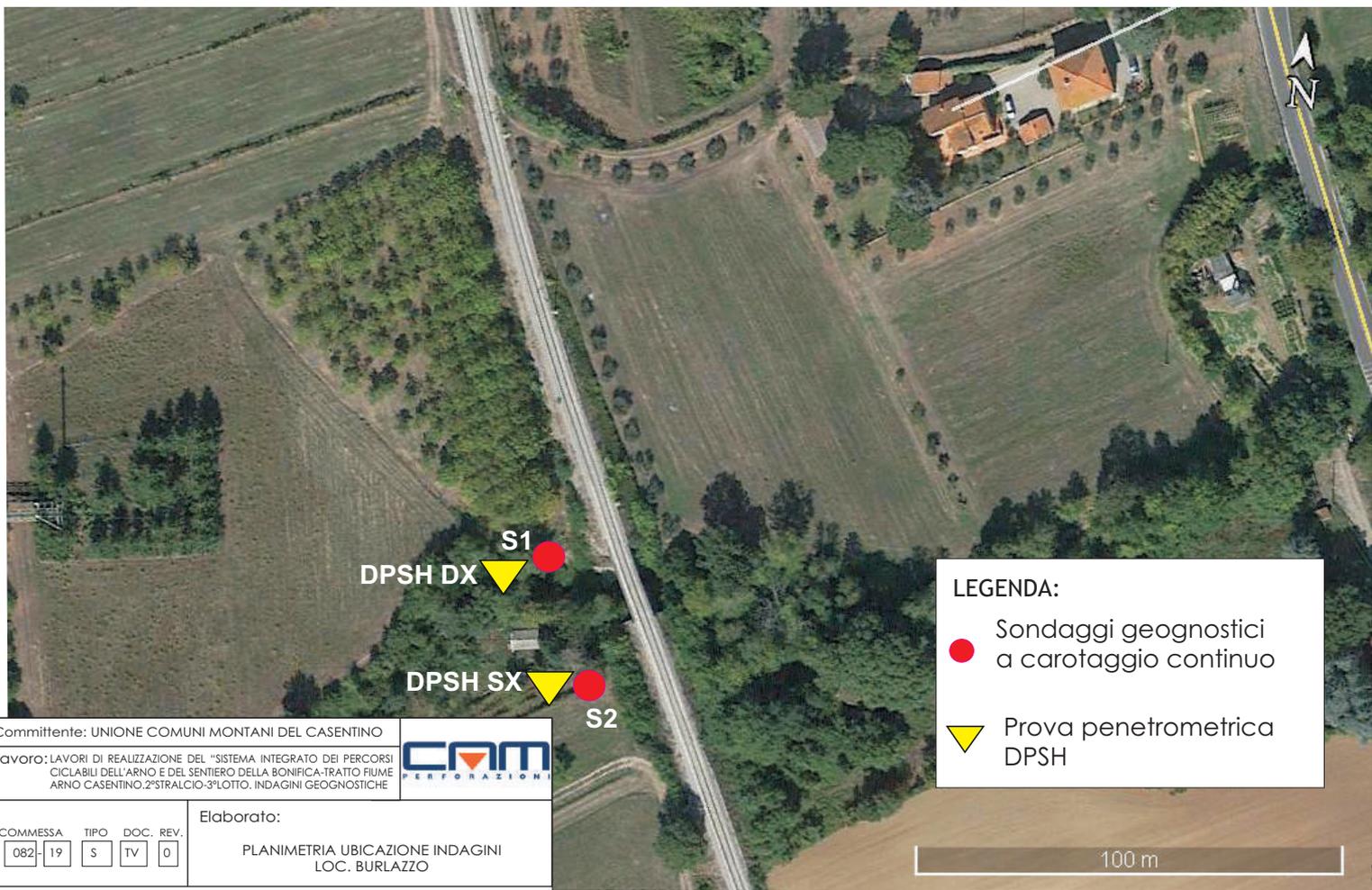


Fig.4- Penetrometro dinamico SPT.

Falconara Marittima, Agosto 2019

Dott. Geol. Paolo Spallacci

**APPENDICE**



Committente: UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO

Lavoro: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL "SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA-TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO. INDAGINI GEOGNOSTICHE



COMMESSA	TIPO	DOC.	REV.
082-19	S	TV	0

Elaborato:  
 PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI  
 LOC. BURLAZZO

File:                      Scala: grafica                      TAV. n°: 4





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S1	ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA	
Cantiere	BURLAZZO DX	Rivestimento	127 mm	CMV MK 600F	
Data Inizio	28/08/2019	Data Fine	29/08/2019	Il geologo	
				Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone	

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD	
1	0.50	0.50		Terreno vegetale sabbioso color marrone con tracce di laterizi, apparati radicali e resti vegetali.	Semplice (101mm)	18.00	3.00 46-R 5cm(P.C) CRSPT1 3.20	3.00 CRSPT1 3.20		
2	2.00	1.50		Clasti di natura arenacea centimetrici in matrice sabbiosa di colore marrone. Da metri 1.90 a metri 2.00 clasti di natura calcarea, calcarea marnosa.						
3	2.30	0.30		Materiale costituito da clasti spigolosi calcarei, sabbia grigio-marrone e frammenti lateritici di dimensioni talvolta centimetriche.						
4		3.20		Ghiaie sub-arrotondate, poligeniche ed eteromorfe con limo sabbioso consistente color marrone chiaro.						
5										
6	5.50									
7										
8				Alternanza di calcari, calcari-marnosi color grigiastro con vene calcitiche ed argilliti nerastre a struttura scagliosa. Materiale fratturato.						
9										
10										
11										
12		14.50								
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20	20.00									
							7.00 R 10cm(P.C) CRSPT2 7.10	7.00 CRSPT2 7.10	8.60 CR1 8.80	50%
							12.00 35-R 5cm(P.C) CRSPT3 12.20	12.00 CRSPT3 12.20	15.60 CR2 16.00	50%
								17.60 CR3 18.00	30%	

Sondaggio n° **S1 BURLAZZO DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S1 BURLAZZO DX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



**PROVA DPSH Burlazzo Dx**

Strumento utilizzato      DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data    28/08/2019  
 Profondità prova          3,00 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	5	0,851	4,38	5,15	219,16	257,60
0,60	7	0,847	5,61	6,62	280,35	330,99
0,80	17	0,793	12,75	16,08	637,72	803,84
1,00	16	0,790	11,95	15,13	597,50	756,56
1,20	19	0,786	14,13	17,97	706,39	898,41
1,40	22	0,733	15,25	20,81	762,38	1040,27
1,60	21	0,730	13,39	18,35	669,40	917,55
1,80	19	0,776	12,89	16,60	644,48	830,16
2,00	17	0,773	11,49	14,86	574,30	742,78
2,20	16	0,770	10,77	13,98	538,38	699,08
2,40	16	0,767	10,73	13,98	536,30	699,08
2,60	28	0,714	16,24	22,74	812,11	1137,02
2,80	42	0,611	20,86	34,11	1042,80	1705,53
3,00	>50					

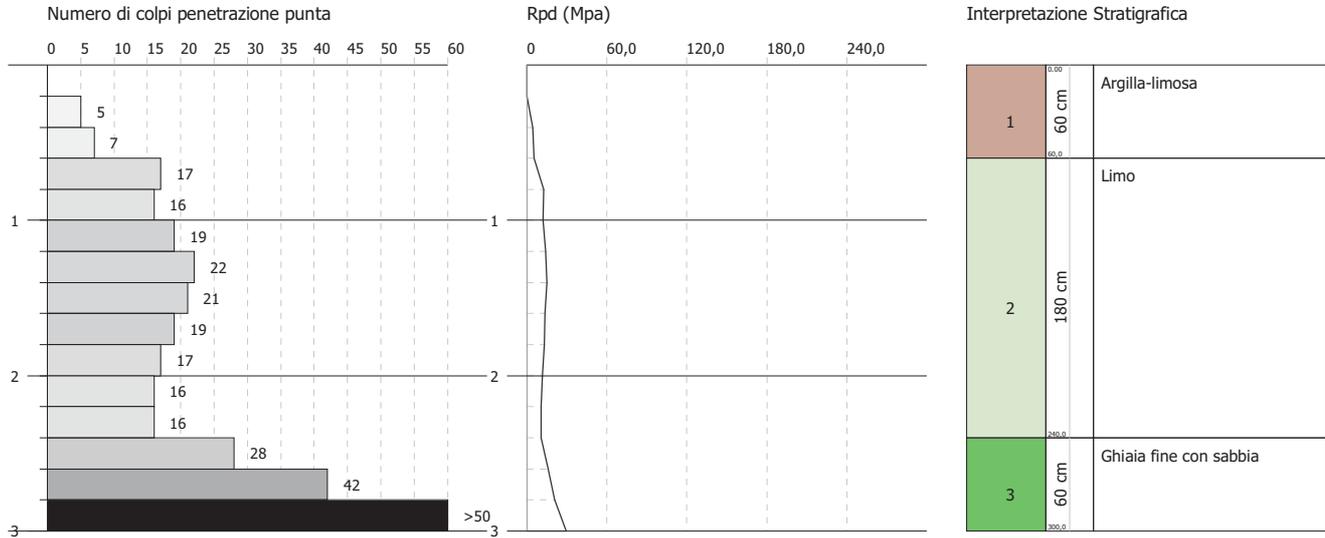
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Clay Fraction (%)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0,6	4	3,92	Coesivo	0	1,47	5,89	Argilla-limosa
2,4	18,11	16,42	Incoerente - coesivo	0	1,47	26,66	Limo
3	43,33	35,19	Incoerente	0	1,47	63,78	Ghiaia fine con sabbia

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Burlazzo Dx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Burlazzo Dx  
 Località: Arno Casentino

Data: 28/08/2019

Scala 1:50





Committente	UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO	Commessa	19/082S	SONDAGGIO S2 ml 20,00
Località	FIUME ARNO CASENTINO	Carotiere	101 mm	SONDA CMV MK 600F
Cantiere	BURLAZZO SX	Rivestimento	127 mm	Il geologo
Data Inizio	02/09/2019	Data Fine	03/09/2019	Dott. Geol. Pasquale Angelo Guidone

Scala 1:100	Profondita'	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Utensili di perforazione	Rivestimento [127 mm]	SPT	Campioni rimaneggiati	% RQD
1	0.20	0.20		Terreno vegetale sabbioso-ghiaioso color marrone con apparati radicali e resti vegetali.	Semplice (101mm)	18.00	3.00	3.00	100%
2	2.30	2.30		Sabbie debolmente limose di colore marrone chiaro da scarsamente addensate a sciolte a granulometria medio-fine con ghiaia poligenica, eteromorfa e sub-arrotondata con dimensioni centimetriche. Localmente i clasti si presentano di colore ocraceo per alterazione.			3.45	3.45	
3	2.50	2.50		Ghiaie sub-arrotondate di dimensioni maggiori di 2-3 centimetri e talvolta maggiori di 7-8 centimetri di natura prevalentemente calcarea marnosa in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marrone nocciola.			6.15	6.15	
4	5.00	2.50		Alternanza di calcari, calcari-marnosi color grigiastro, alterati con patine di ossidazione color ocraceo sui giunti di frattura e vene calcitiche ed argilliti color grigiastro-nerastro a struttura scagliosa. Materiale compatto con poche fratture.			6.55	6.55	
5	5.00	15.00		A metri 12.00 e a metri 15.30 fratture sub-verticali	T6S	18.00	9.50	9.50	100%
6	5.00						10.00	10.00	100%
7	5.00						11.00	11.00	100%
8	5.00						12.00	12.00	100%
9	5.00						13.00	13.00	100%
10	5.00						14.00	14.00	100%
11	5.00						14.30	14.30	100%
12	5.00						15.70	15.70	100%
13	5.00						16.00	16.00	100%
14	5.00						17.00	17.00	100%
15	5.00	17.00	17.00	100%					
16	5.00	17.00	17.00	100%					
17	5.00	17.00	17.00	100%					
18	5.00	17.00	17.00	100%					
19	5.00	17.00	17.00	100%					
20	20.00	19.70	19.70	90%					

Sondaggio n° **S2 BURLAZZO SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 1 (0,00-5,00 m da p.c.)



Foto cassa 2 (5,00-10,00 m da p.c.)



Sondaggio n° **S2 BURLAZZO SX**



COMMITTENTE: **UNIONE COMUNI MONTANI DEL CASENTINO**

COMMESSA: **082S-19**

LAVORO: LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL SISTEMA INTEGRATO DEI PERCORSI CICLABILI DELL'ARNO E DEL SENTIERO DELLA BONIFICA. TRATTO FIUME ARNO CASENTINO. 2°STRALCIO-3°LOTTO.

Foto cassa 3 (10,00-15,00 m da p.c.)



Foto cassa 4 (15,00-20,00 m da p.c.)



### PROVA DPSH Burlazzo Sx

Strumento utilizzato DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 27/08/2019  
 Profondità prova 3,20 m  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	7	0,851	6,14	7,21	306,83	360,64
0,60	9	0,847	7,21	8,51	360,46	425,56
0,80	15	0,793	11,25	14,19	562,69	709,27
1,00	16	0,790	11,95	15,13	597,50	756,56
1,20	20	0,786	14,87	18,91	743,57	945,70
1,40	21	0,733	14,55	19,86	727,72	992,98
1,60	21	0,730	13,39	18,35	669,40	917,55
1,80	20	0,776	13,57	17,48	678,40	873,85
2,00	18	0,773	12,16	15,73	608,09	786,47
2,20	19	0,770	12,79	16,60	639,33	830,16
2,40	16	0,767	10,73	13,98	536,30	699,08
2,60	32	0,664	17,26	25,99	863,15	1299,45
2,80	45	0,611	22,35	36,55	1117,28	1827,35
3,00	48	0,609	23,73	38,98	1186,41	1949,17
3,20	>50					

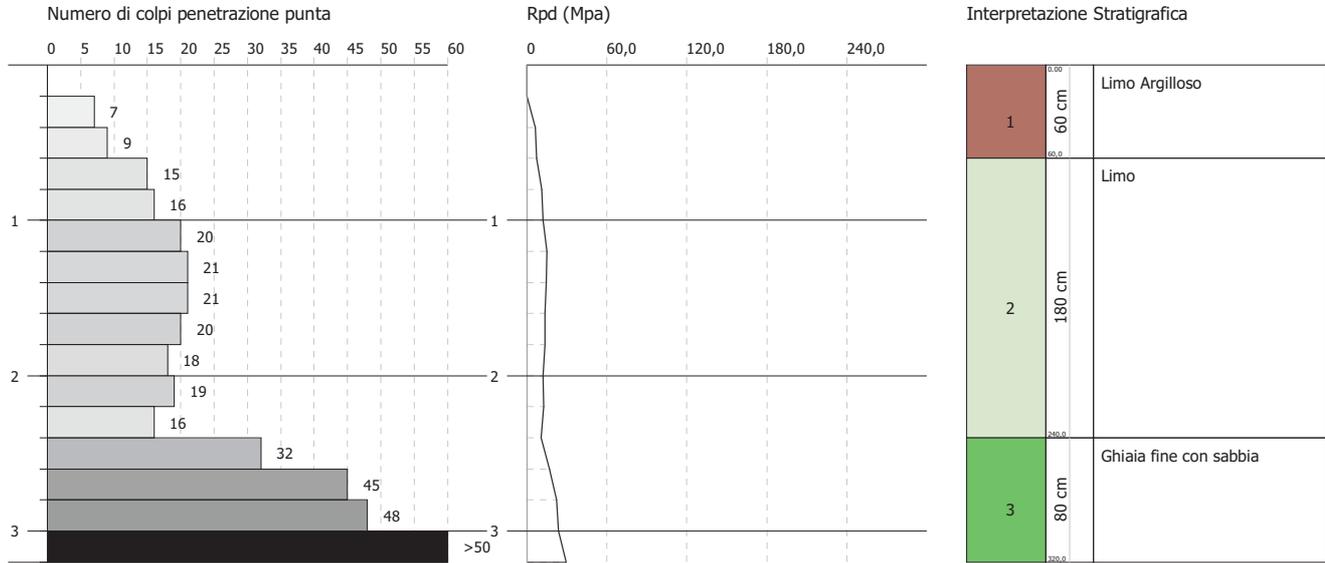
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Coeff. di correlaz. con NspT	NSPT	Descrizione
0,6	5,33	5,24	Coesivo	1,47	7,85	Limo Argilloso
2,4	18,44	16,69	Incoerente	1,47	27,14	Limo
3,2	46,25	37,56	Incoerente	1,47	68,08	Ghiaia fine con sabbia

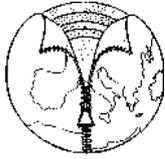
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH Burlazzo Sx**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Unione Montana Comuni del Casentino  
 Descrizione: Burlazzo Sx  
 Località: Arno Casentino

Data: 27/08/2019

Scala 1:50





FARINI LUIGI - GEOLOGO  
Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR  
tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S1 DX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Località: Rio Burlazzo - Destra idrografica  
Lavoro: Passerella su Rio Burlazzo  
Data: 30/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5  
H = altezza di caduta (cm): 75  
Profondità della falda = 5,6 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
3,2	120	90	1,22	110
7,2	120	114	0,85	97
12,2	120	120	0,72	86

N = numero colpi originale  
N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)  
CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)  
N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	Id	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
3,15	GW-GP	21	102	50,8	33,8	-	-	0,487	80,1	70,1	254,6	288	38,9
7,15	GW-GP	21	97	49,9	35,7	-	-	0,4735	97,3	68,6	320,7	343	35,39
12,15	GW-GP	21	91	49,0	36,7	-	-	0,46	101,4	65,4	351,4	374	32,24

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

Id = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

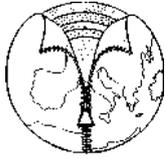
M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)



FARINI LUIGI - GEOLOGO  
Via Case Venti, 11B - Badia Prataglia - 52014 - Poppi - AR  
tel 338 5987380 - email: farini.luigi@geologi.it

ANALISI PROVE SPT IN FORO SU SONDAGGIO S2 SX  
Programma SPT - Standard Penetration Test - © Bruschi Alberto - Basiglio (Mi)

Committente: Unione dei Comuni Montani del Casentino  
Localita': Rio Burlazzo - Sinistra idrografica  
Lavoro: Passerella su Rio Burlazzo  
Data: 30/09/2019

W = peso del maglio (Kg) : 63,5  
H = altezza di caduta (cm): 75  
Profondità della falda = 5,0 m.

VALORI DI N

z (m)	N	N60	CN	N1(60)
3,2	50	38	1,22	46
6,3	102	87	0,91	79

N = numero colpi originale  
N60 = numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)  
CN = fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)  
N1(60) = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	Id	f_p	f_vc	Su	OCR	mu	M	E25	Go	Vs	k
3,15	GW-GP	21	67	46,7	36,4	-	-	0,4255	39	33,6	152,6	239	20,84
6,30	GW-GP	21	87	49,0	36,2	-	-	0,46	77,7	56,8	269,3	317	30,12

z = profondità (m)

g = peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998

Id = indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate

f\_p = angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate

f\_cv = angolo d'attrito a volume costante (°) - dalla procedura di Horwath, 2000 e 2002

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004

OCR = grado di preconsolidamento - da Mayne & Kemper, 1988

mu = coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987

M = modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)

E25 = modulo di elasticità a livello operativo (25%) - da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate

Go = modulo di taglio (MPa) - dalla velocità delle onde sismiche e da Sabatini, 2002 - mediate

Vs = velocità onde di taglio (m/s) - da Ohta & Goto, 1978 e Yoshida e Monotori, 1988 - mediate

k = modulo di Winkler (Kg/cm<sup>3</sup>) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)

INDAGINI GEOFISICHE:

INDAGINI MASW

POSTAZIONI HVSR



# **PROVINCIA DI AREZZO**

## **“STUDIO TRAMITE MASW E RILIEVO H/V SUL RIO DI BURLAZZO”**



**RELAZIONE GEOFISICA**

## PREMESSA

Per la caratterizzazione di un sito lungo il torrente Archiano dove si dovrà costruire una passerella, abbiamo eseguito 2 MASW ed 2 rilievi tromometrici.

Le indagini si sono eseguite sotto la direzione tecnica del Dott. Geol. Farini Luigi.

Si sono esaminate le due sponde del torrente, una è stata rinominata Dx e l'altra Sx. Su ciascun lato abbiamo eseguito un MASW ed un rilievo tromometrico.



## **METODOLOGIA USATA PER L'ANALISI DEI DATI**

Per analizzare la risposta di sito e determinare la pericolosità sismica in base alla normativa vigente si sono utilizzati due distinti metodi geofisici:

**SISMICA A RIFRAZIONE**-Si studia l'andamento del sottosuolo tramite la propagazione dell'onda rifratta.

Si individuano così spessori, velocità e geometrie dei vari sismo strati.

**MASW**-Si ricostruisce la stratigrafia (monodimensionale) attraverso lo studio dell'onda di Rayleigh o di Love.

Ponendo più Masw corti uno accanto all'altro si ricostruisce un profilo in VS.

**H/V**-Si ricava lo spettro di risposta di sito.

Se la sismica a rifrazione o il Masw riesce ad individuare il bedrock sismico, i dati dell'H/V (che rispetto alla sismica a rifrazione è una metodologia meno precisa) serviranno per confermare i dati acquisiti e per aggiungere alcune interessanti informazioni (spettro di risposta di sito).

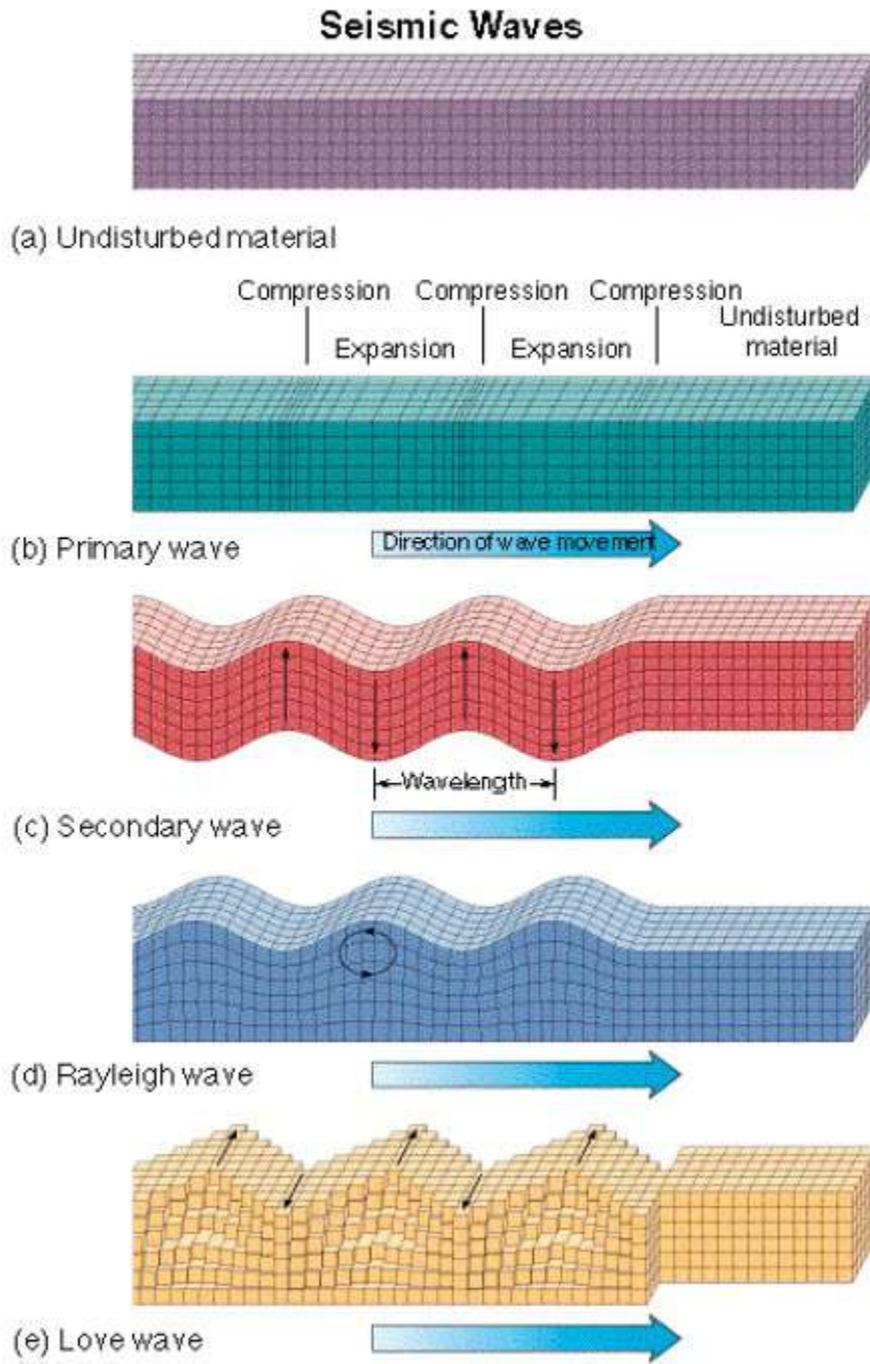
In questo caso, con la rifrazione in p, la velocità dei primi livelli è indicata dal MASW e le geometrie (è gli spessori) dalla rifrazione

Nei casi in cui la rifrazione o il Masw non arrivi ad intercettare il bedrock per i motivi più disparati (stese corte o inversioni o terreni molto allentati) potremo chiudere l'indagine usando i dati provenienti dall' H/V.

In pratica, vincolando il modello 1D generante lo spettro di risposta ai dati in nostro possesso e provenienti dalla sismica e dal MASW, possiamo arrivare a fare delle presupposizioni abbastanza veritiere su quelli che sono gli orizzonti sismo stratigrafici più profondi.

L'H/V viene quindi usato per rifinire e completare le informazioni provenienti dalle altre indagini (dirette o indirette) eseguite.

**Vari tipologie di onde sismiche**



## STRUMENTAZIONE USATA PERI I RILIEVI

### MASW

Sismografo AMBROGEO ECHO24-2010

Geofoni verticali da 4,5 hz

Massa battente (mazza)



Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

## **SOFTWARE USATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DEI DATI**

### **Acquisizione dei dati**

*SISMOPC 1.0-PASI  
AMROGEO*

### **Elaborazione e filtraggio**

<i>Visual Sunt 20</i>	<i>Wgeosoft -filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>Seismic Unix</i>	<i>Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)</i>
<i>WinMasw Pro</i>	<i>Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione</i>
<i>Grilla</i>	<i>Tromino-H/V</i>
<i>Geopsy</i>	<i>Software Libero-H/V</i>
<i>Winsism 11.2</i>	<i>Wgeosoft-sismica a rifrazione</i>
<i>Rayfract</i>	<i>Intelligent re source-sismica a rifrazione</i>

### **Modelli 1 D e rischio sismimico**

<i>Deep Soil</i>	<i>software libero-Risposta di sito modellazione 1D</i>
<i>Roxel</i>	<i>software libero-risposta di sito-terremoto di progetto</i>
<i>Shake 2000</i>	<i>Geo Motions-risposta di sito -modellazione 1D -liquefazione ecc.</i>
<i>Ciclic 1D</i>	<i>software libero-liquefazione</i>

**TUTTI I SOFTWARE COMMERCIALI IN NOSTRO POSSESSO SONO ORIGINALI E DOTATI DI ORIGINALE LICENZA**

## RILIEVI TROMOMETRICI

### Tromino Micromed



<b>Number of channels</b>	3+1 analog
<b>Amplifiers</b>	all channels with differential inputs
<b>Noise</b>	< 0.5 $\mu\text{V}$ r.m.s. @128 Hz sampling
<b>Input impedance</b>	$10^6$ Ohm
<b>Frequency range</b>	DC - 360 Hz
<b>Sampling frequency</b>	16384 Hz per channel
<b>Oversampling frequency</b>	32x, 64x, 128x
<b>A/D conversion</b>	$\geq 24$ bit equivalent
<b>Max analog input</b>	51.2 mV (781 nV/digit)

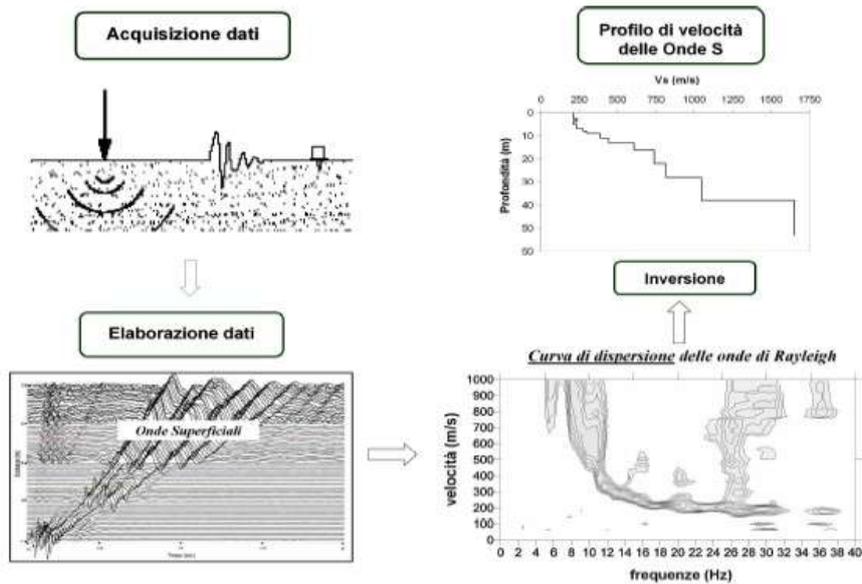
## CENNI TEORICI MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Nel metodo di indagine passivo si registra il rumore di fondo.



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di

sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

### **STRUMENTAZIONE USATA**

Ambrogeo2010SU

Numero dei canali 12

A/D conversione 24 bit

Geofoni da 4.5 hz verticali

### **SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE**

Generazione di onde P:

massa battente (mazza da 8 kg)

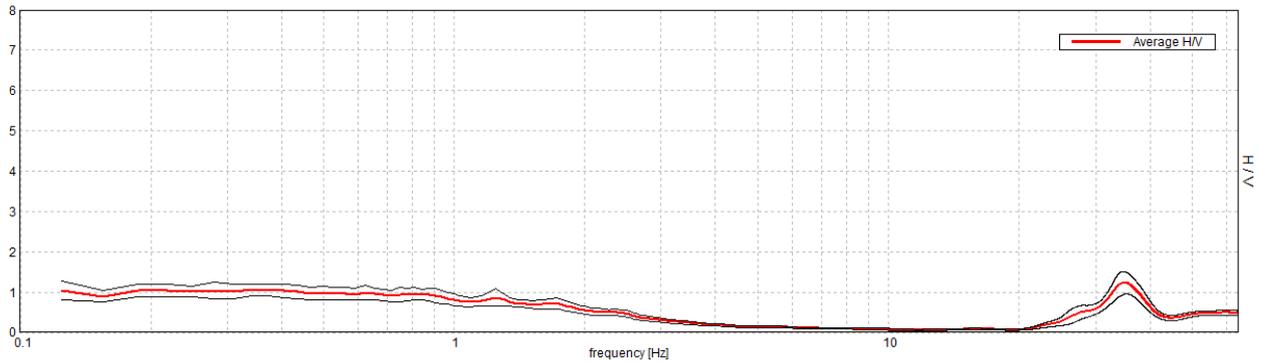


Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 11:59:03 Fine registrazione: 01/08/19 12:21:03  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

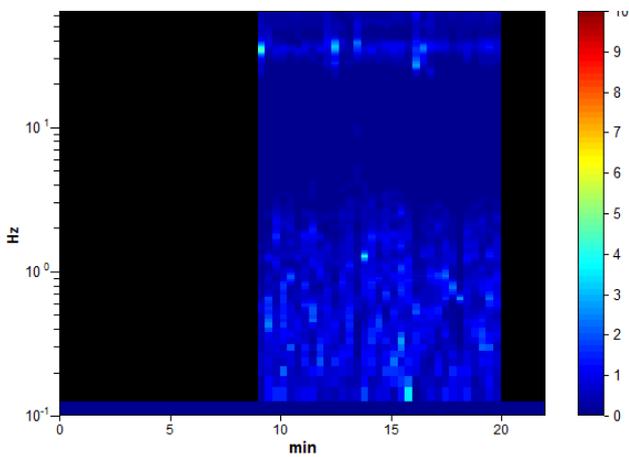
Durata registrazione: 0h22'00". Analizzato 50% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

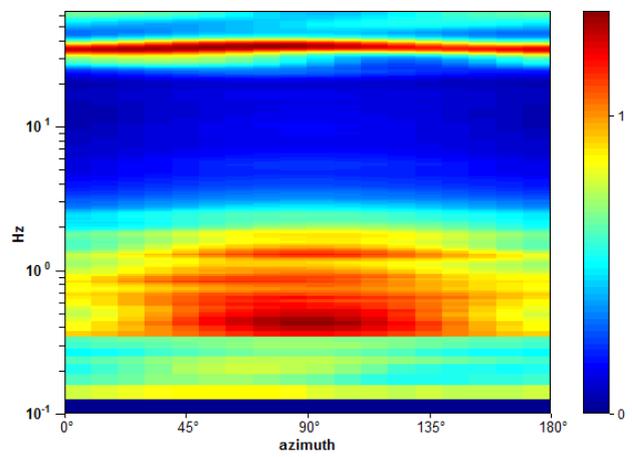
Max. H/V at  $35.0 \pm 0.59$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



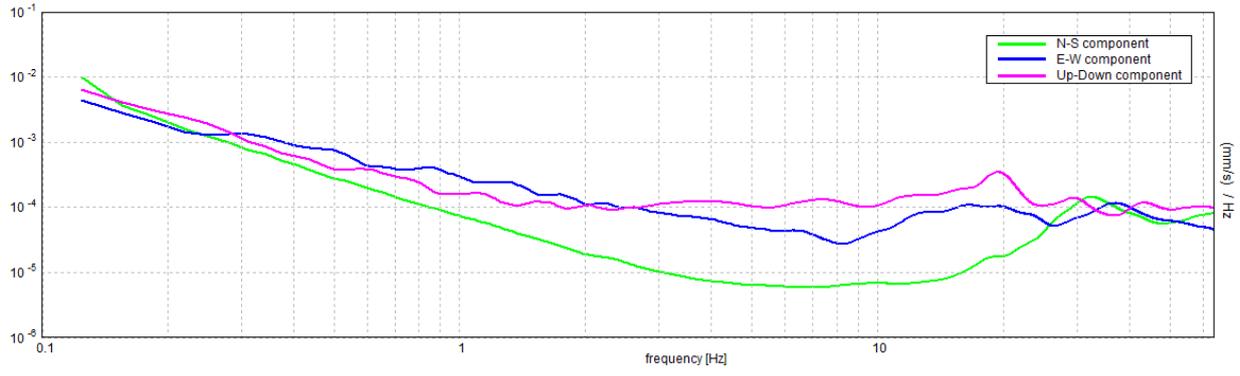
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 35.0 ± 0.59 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	35.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	23100.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1489	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

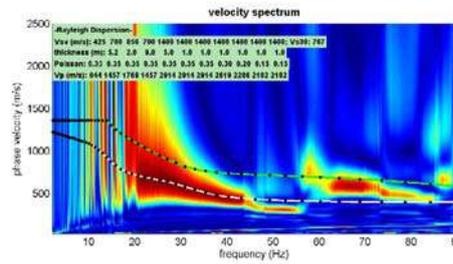
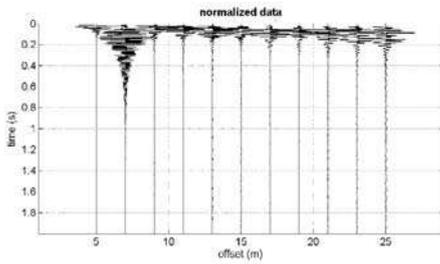
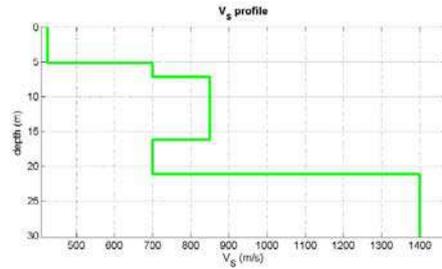
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	30.406 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	40.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.23 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01684  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.58955 < 1.75	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2735 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**Burlazzo dx**



**Mean model**

Vs (m/s): 425, 700, 850, 700, 1400, 1400, 1400, 1400, 1400, 1400

Thickness (m): 5.2, 2.0, 9.0, 5.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 2.01 2.15 2.19 2.15 2.31 2.31 2.31 2.29 2.26 2.24 2.24

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 364 1051 1584 1051 4536 4536 4536 4485 4420 4398 4398

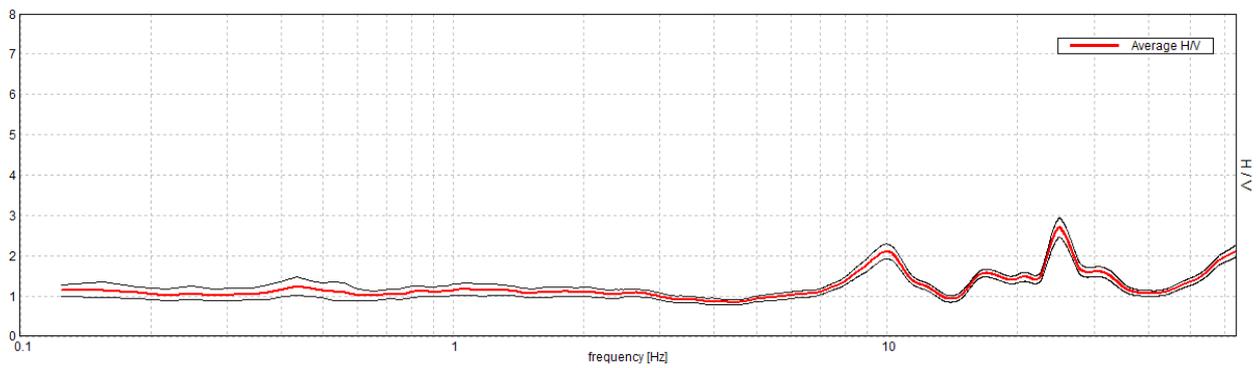
Vs30 (m/s): 767

Strumento: TRZ-0135/01-11  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 01/08/19 12:43:51 Fine registrazione: 01/08/19 13:05:51  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

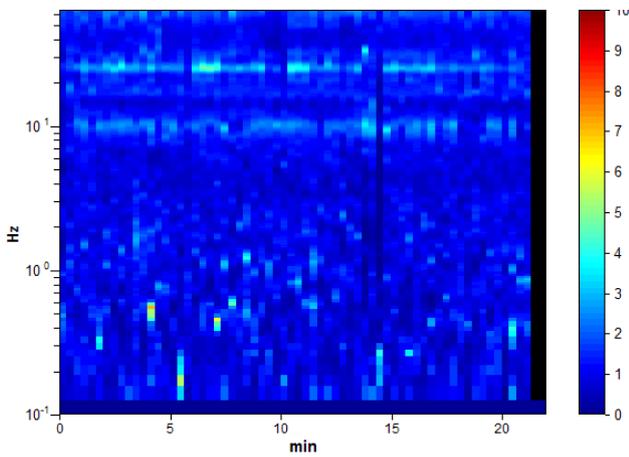
Durata registrazione: 0h22'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

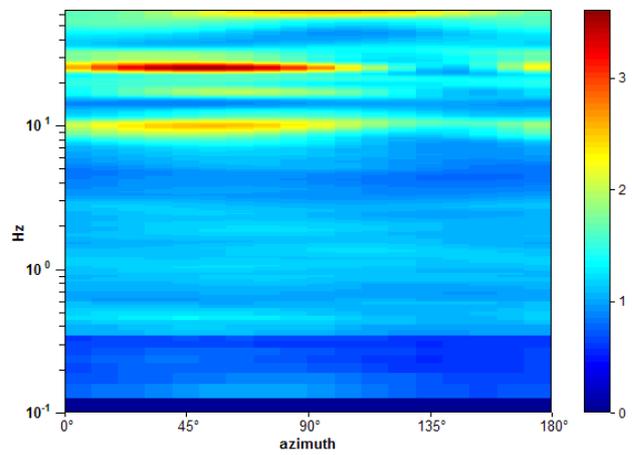
Max. H/V at  $24.97 \pm 7.07$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



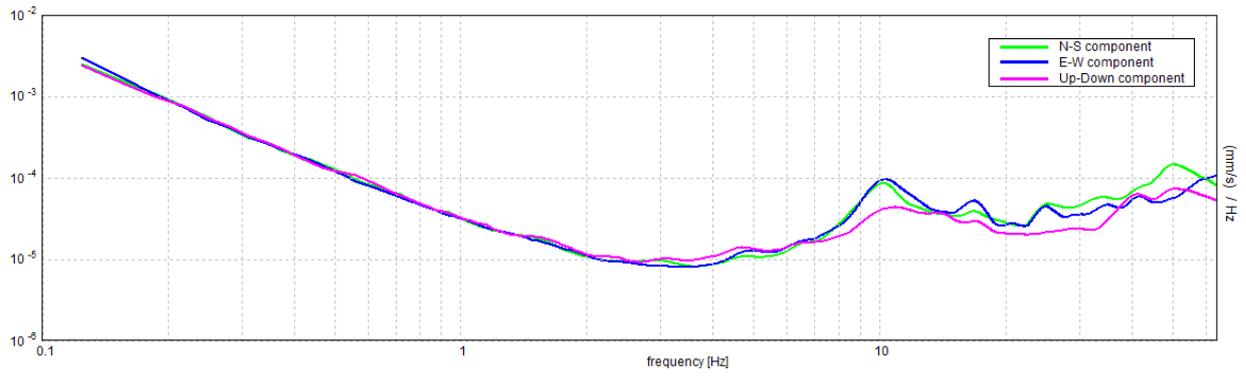
### SERIE TEMPORALE H/V



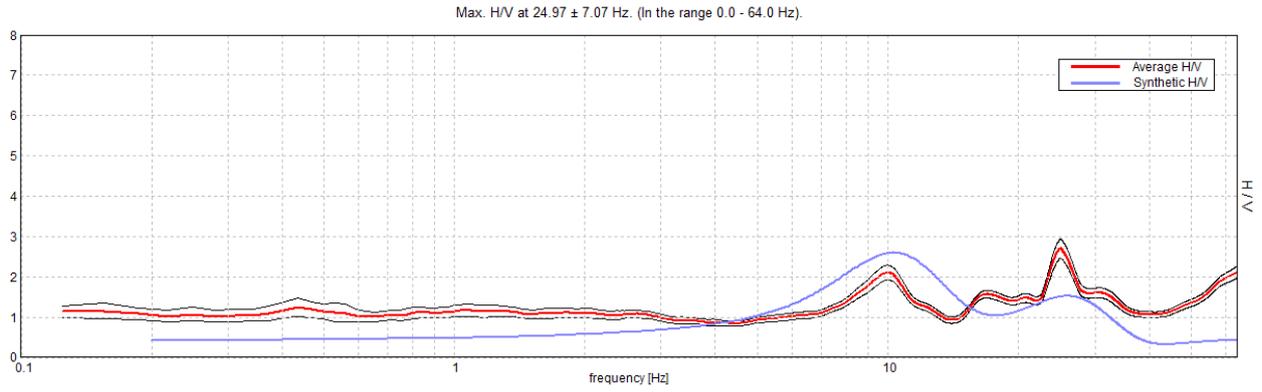
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

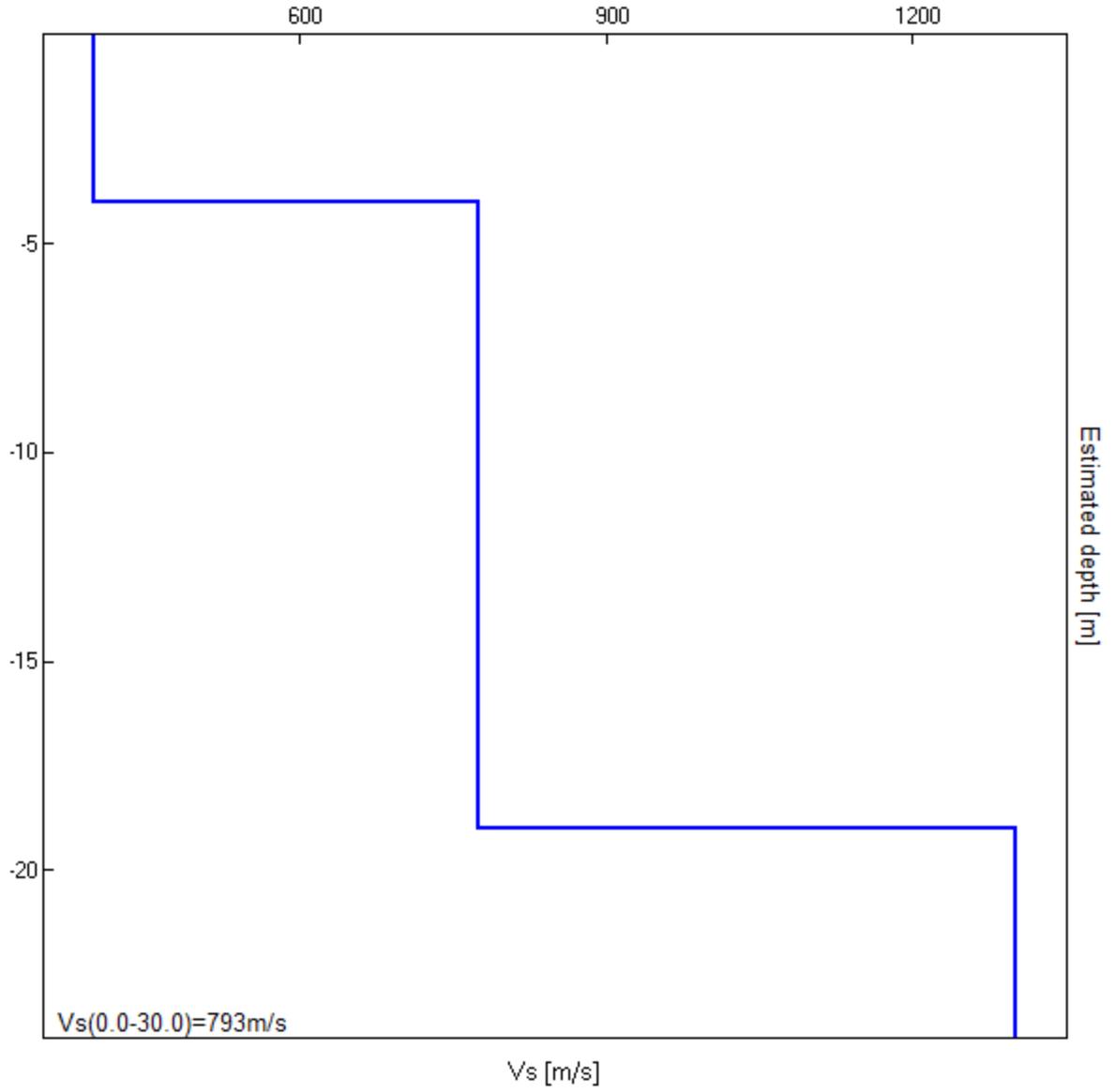


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.00	4.00	400	0.42
19.00	15.00	775	0.42
inf.	inf.	1300	0.42

Vs(0.0-30.0)=793m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $24.97 \pm 7.07$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$24.97 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$32958.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1200	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	15.719 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	34.031 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.70 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.28314  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$7.06968 < 1.24844$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.2347 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**AREZZO 29-07-2019**

**GALILEO GEOFISICA**



ANALISI LABORATORIO GEOTECNICO





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 4

## Rapporto di prova n. 423/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 153/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

SICR2 Profondità 15.6 - 16.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 4 pagine.



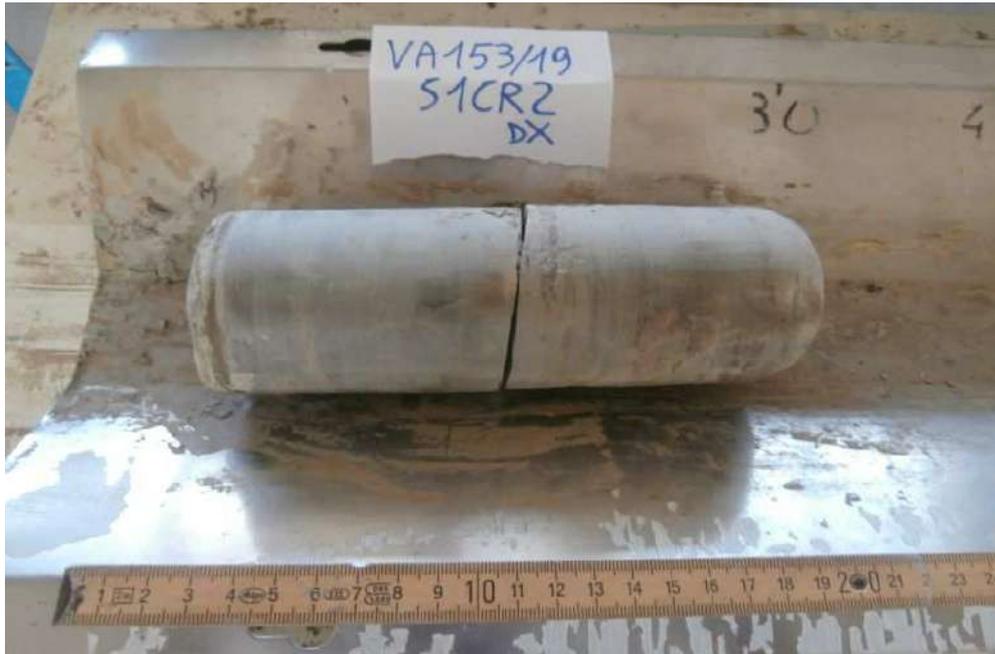
Rapporto di prova n. 423/2019

Campione S1CR2 Profondità 15.6 - 16.0 m in destra

Point Load Test - ASTM D 5731-95

Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna argillosa, colore grigio - grigio scuro



provino A

Altezza	D	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.85	80.45	53.55	339.48	3.40

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.53	1.03	0.54	23.6	23.0	12.8

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 423/2019

Campione S1CR2 Profondità 15.6 - 16.0 m in destra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.94	79.81	54.29	347.44	7.50

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.18	1.04	1.22	23.7	23.2	29.0

provino C

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.89	80.55	54.53	351.12	1.75

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.27	1.04	0.28	23.8	23.3	6.7

provino D

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.96	80.71	54.59	351.17	3.15

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.48	1.04	0.50	23.8	22.8	12.0

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 4 di 4

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 423/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

Campione	S1Cr2	S1Cr2	S1Cr2	S1Cr2
Provino n.	A	B	C	D
<b>Point Load Test</b>				
$\sigma$ a rottura (MPa)	12.8	29.0	6.7	12.0
<b>Parametri fisici</b>				
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.0	23.2	23.3	22.8

*Michele Caloni*





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei  
Materiali

Pag. 1 di 5

## Rapporto di prova n. 424/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 153/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S1CR3 Profondità 17.6 - 18.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 5 pagine.

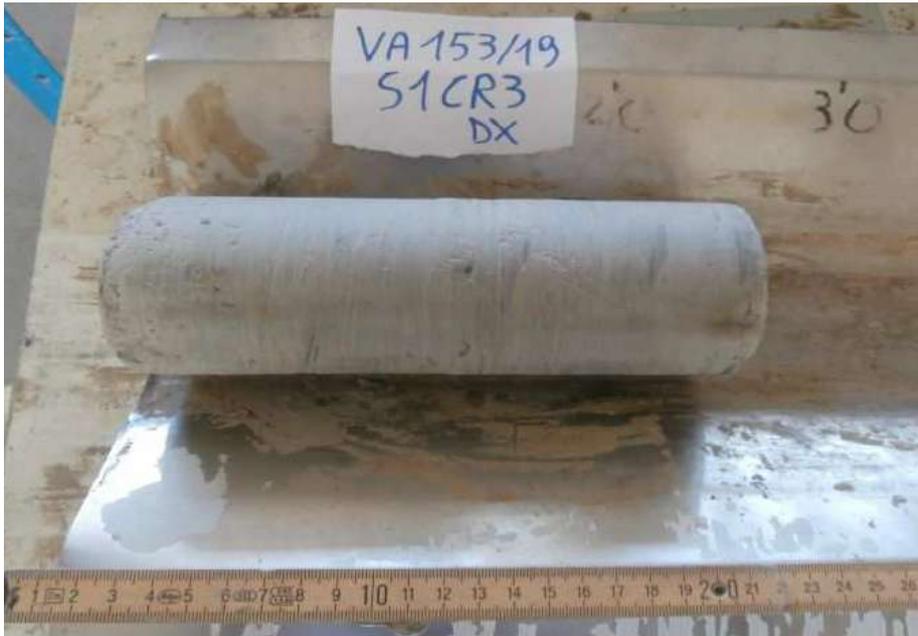


Rapporto di prova n. 424/2019

Campione: S1CR3 Profondità 17.6 - 18.0 m in destra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna colore grigio



**provino A**

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.67	78.19	51.36	311.01	5.00

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.82	1.01	0.83	23.2	23.8	19.2

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 424/2019

Campione: S1CR3 Profondità 17.6 - 18.0 m in destra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
2.43	79.25	50.23	291.51	5.50		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
0.88	1.00	0.88	23.0		23.9	20.1

provino C

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
2.63	80.44	51.60	324.15	7.00		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.08	1.01	1.10	23.2		23.8	25.5

provino D

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
2.63	7.97	51.36	314.59	6.25		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
0.98	1.01	1.00	23.2		23.5	23.1

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 424/2019

Campione: S1CR3 Profondità 17.6 - 18.0 m in destra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino E

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.63	80.44	51.60	316.08	3.30

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.51	1.01	0.52	23.2	23.2	12.0

provino F

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.77	78.69	52.01	321.38	2.70

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.44	1.02	0.44	23.3	23.4	10.3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 5 di 5

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 424/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

Campione	S1Cr3	S1Cr3	S1Cr3
Provino n.	A	B	C
<b>Point Load Test</b>			
$\sigma$ a rottura (MPa)	19.2	20.1	25.5
<b>Parametri fisici</b>			
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.8	23.9	23.8

Campione	S1Cr3	S1Cr3	S1Cr3
Provino n.	D	E	F
<b>Point Load Test</b>			
$\sigma$ a rottura (MPa)	23.1	12.0	10.3
<b>Parametri fisici</b>			
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.5	23.2	23.4

*Michele Caloni*





## Rapporto di prova n. 425/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 153/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S2CR3 Profondità 15.7 - 16.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 5 pagine.



Rapporto di prova n. 425/2019

Campione: S2CR3 Profondità 15.7 - 16.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: arenaria colore grigio oliva - grigio scuro



**provino A**

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.03	71.18	52.14	287.66	14.15		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C	$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)	
2.79	1.02	2.85	23.3	23.4	66.4	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Coloni



Rapporto di prova n. 425/2019

Campione: S2CR3 Profondità 15.7 - 16.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura		
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)		
2.72	70.13	49.10	261.35	12.25		
Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura	
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)	
2.49	0.99	2.47	22.8	24.4	56.2	

provino C

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura		
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)		
3.03	70.31	51.82	285.23	12.75		
Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura	
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)	
2.58	1.02	2.62	23.3	23.8	60.9	

provino D

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura		
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)		
2.71	70.00	49.06	249.54	13.50		
Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura	
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)	
2.76	0.99	2.73	22.7	23.5	62.1	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 425/2019

Campione: S2CR3 Profondità 15.7 - 16.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino E

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.93	71.19	51.27	287.41	11.80

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
2.33	1.01	2.35	23.2	24.1	54.5

provino F

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
2.98	70.88	52.03	286.06	14.40

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
2.87	1.02	2.92	23.3	23.8	68.0

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 5 di 5

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 425/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

Campione	S2Cr3	S2Cr3	S2Cr3
Provino n.	A	B	C
<b>Point Load Test</b>			
$\sigma$ a rottura (MPa)	66.4	56.2	60.9
<b>Parametri fisici</b>			
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.4	24.4	23.8

Campione	S2Cr3	S2Cr3	S2Cr3
Provino n.	D	E	F
<b>Point Load Test</b>			
$\sigma$ a rottura (MPa)	62.1	54.5	68.0
<b>Parametri fisici</b>			
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.5	24.1	23.8

*Michele Gallo*





## Rapporto di prova n. 426/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 153/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi  
della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S2CR4 Profondità 19.7 - 20.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 5 pagine.



**Rapporto di prova n. 426/2019**

**Campione: S2CR4    Profondità 19.7 - 20.0 m    in sinistra**

**Point Load Test - ASTM D 5731-95**  
**Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)**

Descrizione: argillite marnosa - marna argillosa, colore grigio - grigio scuro



**provino A**

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.05	71.61	52.30	306.12	8.50		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C	$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)	
1.66	1.02	1.69	23.3	24.5	39.5	

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 426/2019

Campione: S2CR4 Profondità 19.7 - 20.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.20	71.47	54.80	341.48	9.75		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.91	1.04	1.99	23.8		26.1	47.4

provino C

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.02	71.49	52.26	341.48	10.00		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.96	1.02	2.00	23.3		27.6	46.6

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 426/2019

Campione: S2CR4 Profondità 19.7 - 20.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino D

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(cm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.79	7.13	58.75	382.19	14.30

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
2.81	1.08	3.02	24.5	24.7	74.1

provino E

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(cm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.03	71.32	52.19	310	12.30

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
2.42	1.02	2.47	23.3	25.1	57.5

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 5 di 5

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 426/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

Campione	S2Cr4	S2Cr4	S2Cr4	S2Cr4	S2Cr4
Provino n.	A	B	C	D	E
<b>Point Load Test</b>					
$\sigma$ a rottura (MPa)	39.5	47.4	46.6	74.1	57.5
<b>Parametri fisici</b>					
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	24.5	26.1	27.6	24.7	25.1

*Michela Gallo*



## Rapporto di prova n. 434/2019

Montelupo Fiorentino li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle rocce

v.a n. 153/2019

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell' Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

CAMPIONI: n. 1 spezzone di roccia

S2CR1 Profondità 9.5 - 10.0 m

### Prove eseguite

1 - Peso di volume (Boll. Uff. CNR n. 40)

2 - Point Load Test (ASTM D 5731-95)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni

Il presente rapporto di prova si compone di 5 pagine.



Rapporto di prova n. 434/2019

Campione: S2CR1 Profondità 9.5 - 10.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

Descrizione: marna - marna argillosa, colore grigio scuro



provino A

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)
3.38	70.90	54.58	323.67	5.00

Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C	$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
0.99	1.04	1.03	23.8	23.8	24.6

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 434/2019

Campione: S2CR1 Profondità 9.5 - 10.0 m in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino B

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.39	70.54	54.44	321.3	5.50		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.11	1.04	1.15	23.7		23.8	27.3

provino C

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.36	70.82	54.55	324.42	5.50		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.10	1.04	1.14	23.8		24.1	27.1

provino D

Altezza (cm)	Diametro (mm)	De (mm)	Peso secco (gr)	Carico a rottura (kN)		
3.40	71.15	54.67	327.37	5.50		
Is (Mpa)	F	Is(50) (Mpa)	C		$\gamma_{secco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ a rottura (Mpa)
1.09	1.04	1.13	23.8		23.7	26.9

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Dott. Michele Caloni



Rapporto di prova n. 434/2019

Campione: S2CR1    Profondità 9.5 - 10.0 m    in sinistra

Point Load Test - ASTM D 5731-95  
Peso di volume naturale (Boll. Uff. CNR n. 40)

provino E

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.37	70.56	54.86	321.89	5.00

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
1.00	1.04	1.05	23.8	24.0	24.9

provino F

Altezza	Diametro	De	Peso secco	Carico a rottura
(cm)	(mm)	(mm)	(gr)	(kN)
3.37	70.71	53.68	323.43	4.75

Is	F	Is(50)	C	$\gamma_{secco}$	$\sigma$ a rottura
(Mpa)		(Mpa)		(KN/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
0.95	1.03	0.98	23.6	24.0	23.1

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Dott. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Pag. 5 di 5

## TABELLA RIASSUNTIVA RAPPORTO DI PROVA N. 434/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani del Casentino

LOCALITA': Burlazzo

Campione	S2Cr1	S2Cr1	S2Cr1
Provino n.	A	B	C
<b>Point Load Test</b>			
$\sigma$ a rottura (MPa)	24.6	27.3	27.1
<b>Parametri fisici</b>			
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.8	23.8	24.1

Campione	S2Cr1	S2Cr1	S2Cr1
Provino n.	D	E	F
<b>Point Load Test</b>			
$\sigma$ a rottura (MPa)	26.9	24.9	23.1
<b>Parametri fisici</b>			
$\gamma_{secco}$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.7	24.0	24.0

*Michela Gallo*





**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

## Certificati di Prova n. 1626-1629/2019

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Burlazzo

DATA ESECUZIONE PROVE: 16/09/19 - 04/10/19

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

CAMPIONI:

S1Cr1 profondità 8.6 - 8.8 m

### Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 6 - Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)
- 7 - Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1626/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 8.6 - 8.8 m	Montelupo Fiorentino, lì 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Burlazzo	Data apertura campione: 16/09/19

**Descrizione del campione**

Campione semidisturbato prelevato da cassetta da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

0 - 14 cm: argillite alterata a limo a sabbioso argilloso con elementi litici colore oliva

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, granulometria, edometria e taglio

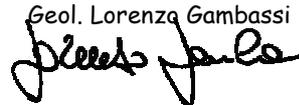
14 - 30 cm: marna argillosa

colore grigio - grigio oliva



Classe e grado di qualità (sec. A.G.I.)

Campione a disturbo limitato Q-4

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi  




Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  




**CERTIFICATO DI PROVA N.1626/2019**

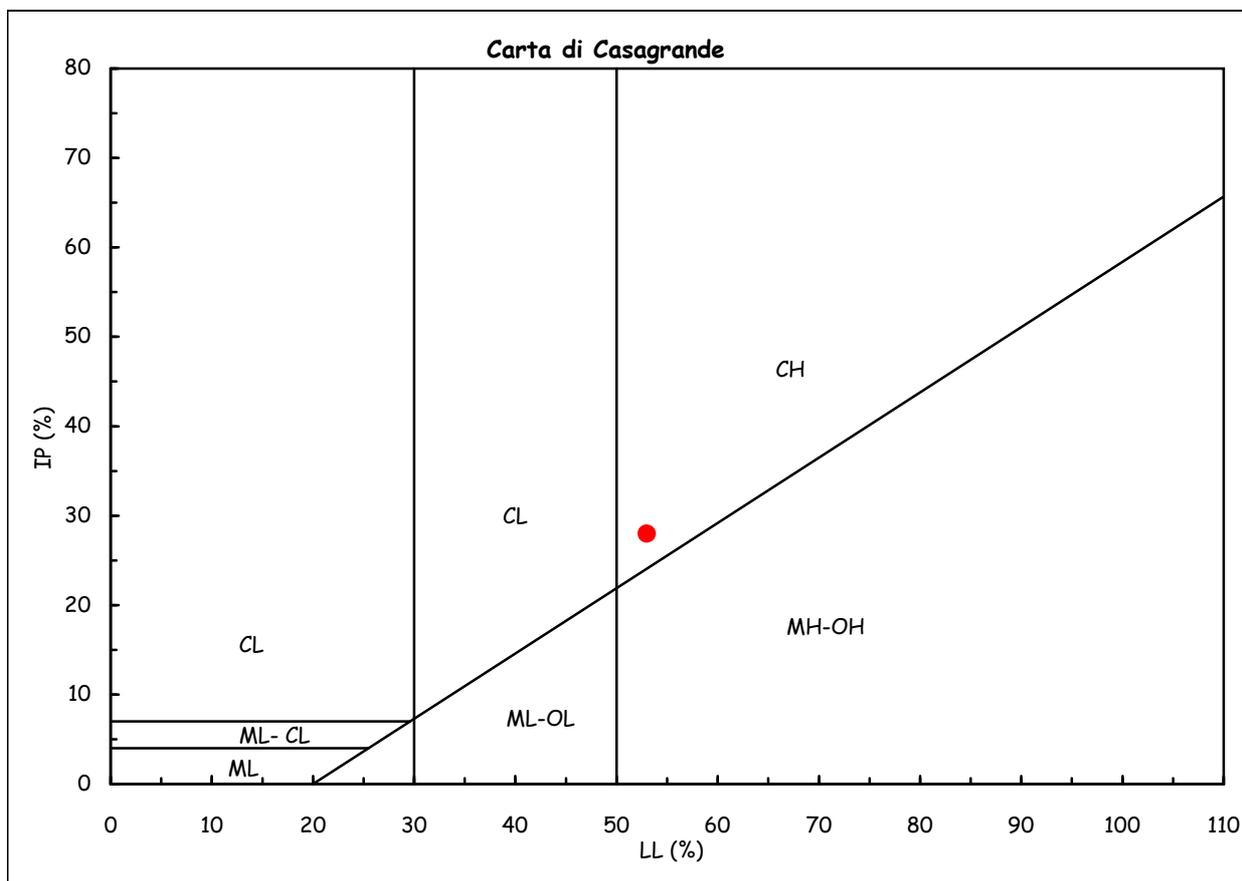
<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 8.6 - 8.8 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Burlazzo	Data prova: 16/09/19 - 23/09/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Contenuto d'acqua (W <sub>n</sub> ) =	22.24%	Limite di liquidità (LL) =	53%
Limite di plasticità (LP) =	25%	Indice di plasticità (IP) =	28%
Indice di consistenza (I <sub>c</sub> ) =	1.10	Indice di attività (I <sub>at</sub> ) =	0.85

CH = argille inorganiche di  
alta plasticità



Classificazione UNI 10006

Gruppo: A7-6

Indice di gruppo: 13

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1627/2019**

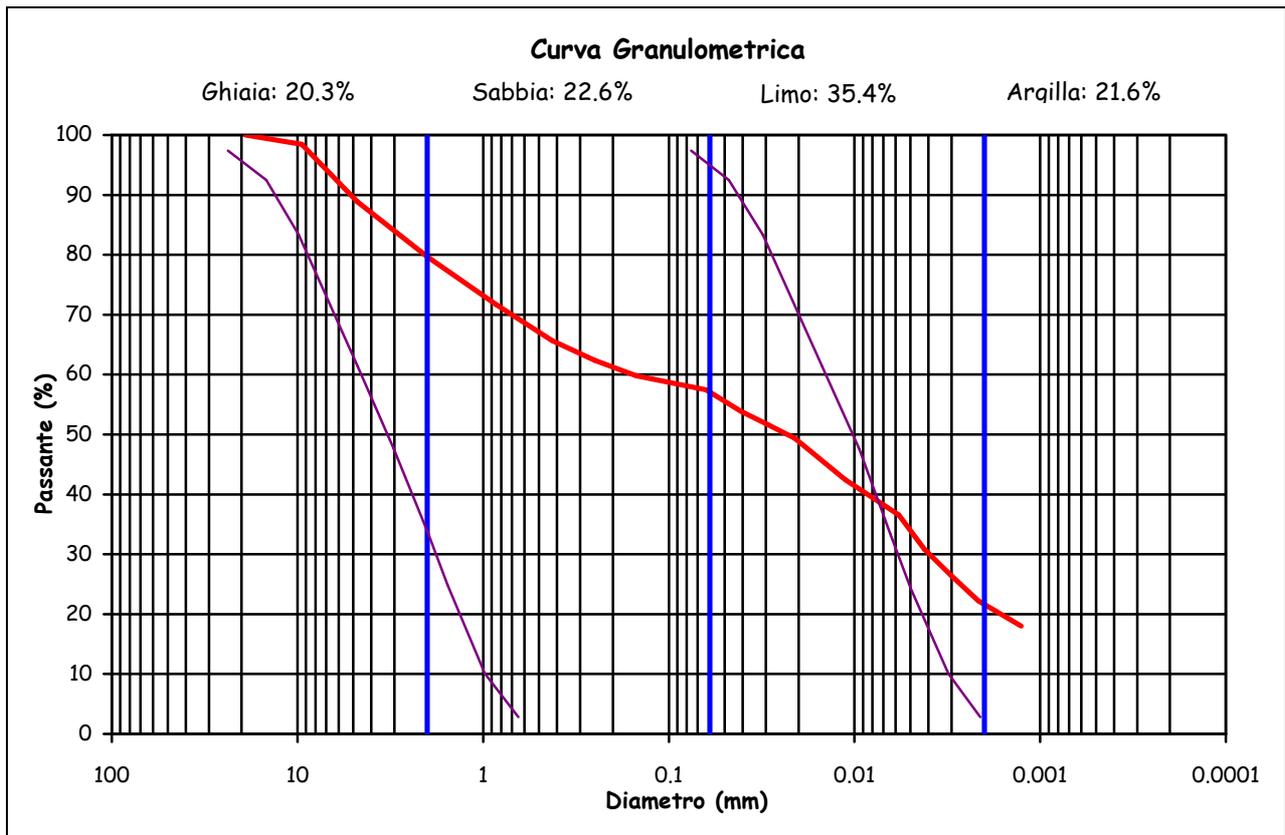
<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 8.6 - 8.8 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Burlazzo	Data prova: 16/09/19 - 02/10/19

**Analisi granulometrica**

Setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
19	100	0.0410	53.9
9.5	98.4	0.0293	51.6
4.75	88.9	0.0210	49.4
2	79.7	0.0112	42.4
0.850	71.7	0.0058	36.6
0.425	65.6	0.0042	30.8
0.250	62.4	0.0030	26.4
0.150	59.8	0.0022	22.2
0.063	57.5	0.0013	18.0



Definizione secondo A.G.I.:  
**Limo sabbioso argilloso ghiaioso**

Fusi granulometrici critici nei confronti della liquefazione (Tsuchida, 1970)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*



**CERTIFICATO DI PROVA N.1627/2019**

**CAMPIONE S1Cr1** profondità 8.6 - 8.8 m

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

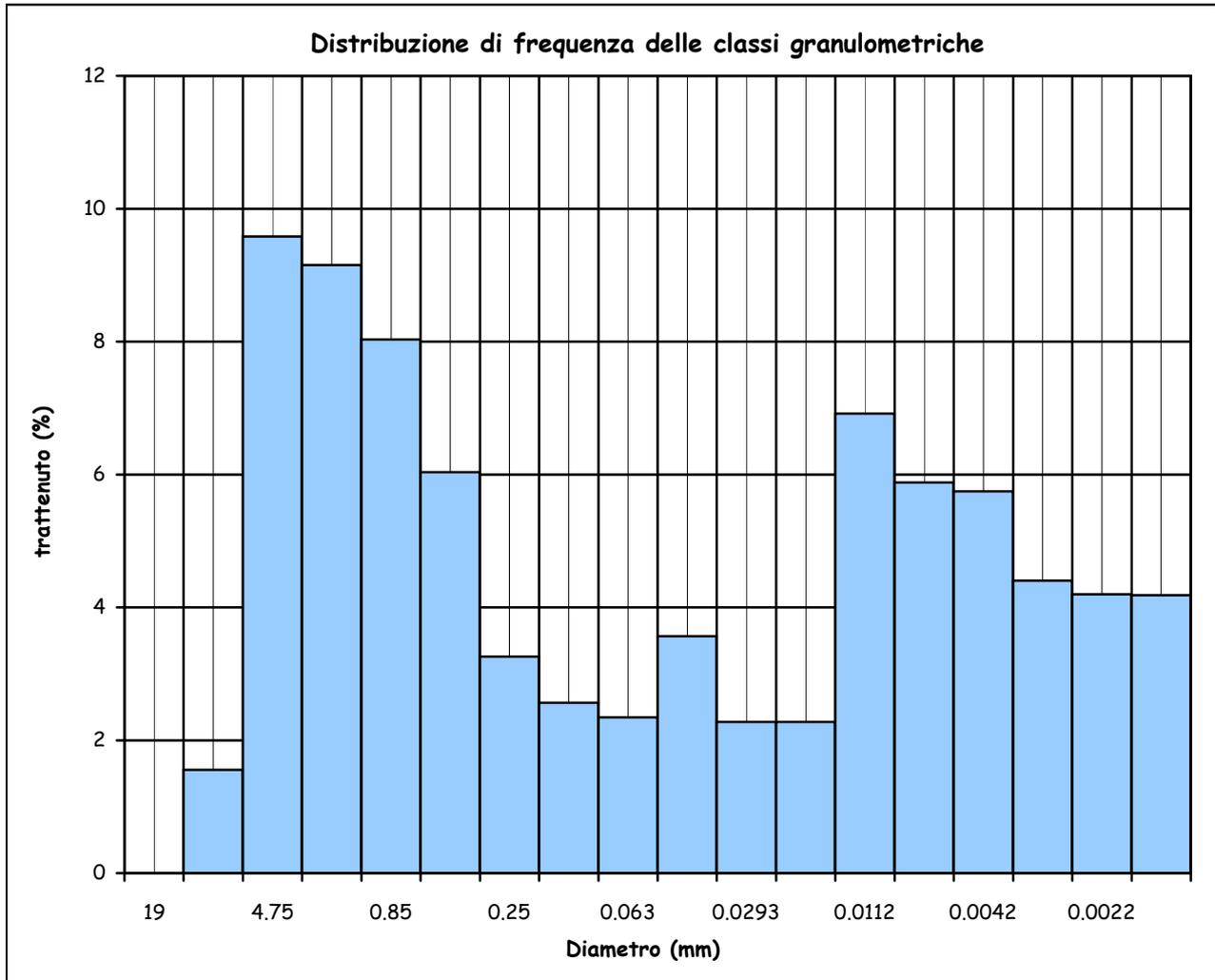
LOCALITA': Burlazzo

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

Data prova: 16/09/19 - 02/10/19

**Analisi granulometrica**



Coefficiente di uniformità (Cu) = -

Coefficiente di curvatura (Cc) = -

Mediana 0.0234

Moda 4.7500

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1628/2019**

CAMPIONE S1Cr1 profondità 8.6 - 8.8 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Burlazzo	Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)

	Iniziale	Finale
Altezza (mm)	20.005	18.649
Volume (cmc)	39.912	37.207
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	18.0	19.6
Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	14.6	15.7
Contenuto d'acqua (%)	23.27	24.59

Pressione (kPa)	Cedimento (%)	Mv (m <sup>2</sup> /kN)
6.1	0.000	--
12.3	0.000	0.0000000
24.6	0.000	0.0000000
49.2	0.083	0.0000338
98.3	0.734	0.0001324
196.6	1.810	0.0001094
393.2	3.618	0.0000920
786.5	6.134	0.0000640
1573.0	9.746	0.0000459
393.2	9.281	0.0000039
98.3	7.928	0.0000459
24.6	6.779	0.0001558

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1628/2019**

CAMPIONE S1Cr1 profondità 8.6 - 8.8 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

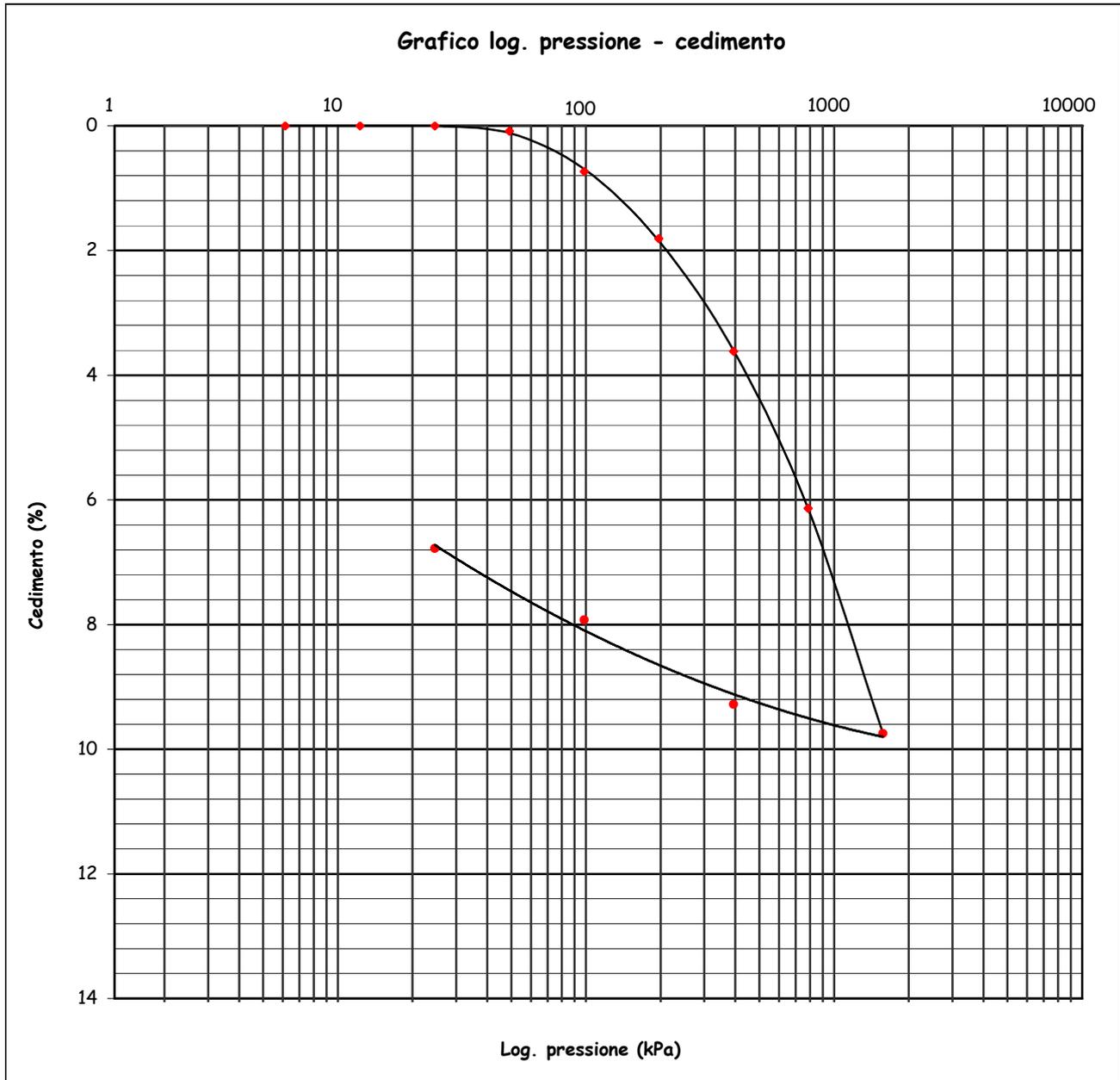
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

LOCALITA': Burlazzo

Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)**



Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

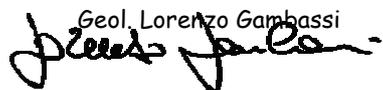
Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1628/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 8.6 - 8.8 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Burlazzo	Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)****Cedimento in funzione del tempo**

carico da 49.2 a 98.3 kPa		carico da 98.3 a 196.6 kPa	
tempo (minuti)	Cedimento (10 <sup>-3</sup> mm)	tempo (minuti)	Cedimento (10 <sup>-3</sup> mm)
0.10	191.00	0.10	406.50
0.17	198.75	0.17	418.00
0.25	204.00	0.25	427.75
0.50	211.00	0.50	442.65
1.00	217.00	1.00	454.15
2.00	222.25	2.00	463.90
4.00	228.75	4.00	471.70
8.00	233.75	8.00	479.00
15.00	238.75	15.00	484.85
30.00	244.75	30.00	491.00
60.00	248.50	60.17	497.00
120.00	253.80	130.00	503.00
236.00	258.75	290.00	509.10
476.00	263.25	490.00	513.80
1440.00	267.50	1427.00	520.00

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  




Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  




**CERTIFICATO DI PROVA N.1628/2019**

**CAMPIONE S1Cr1** profondità 8.6 - 8.8 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

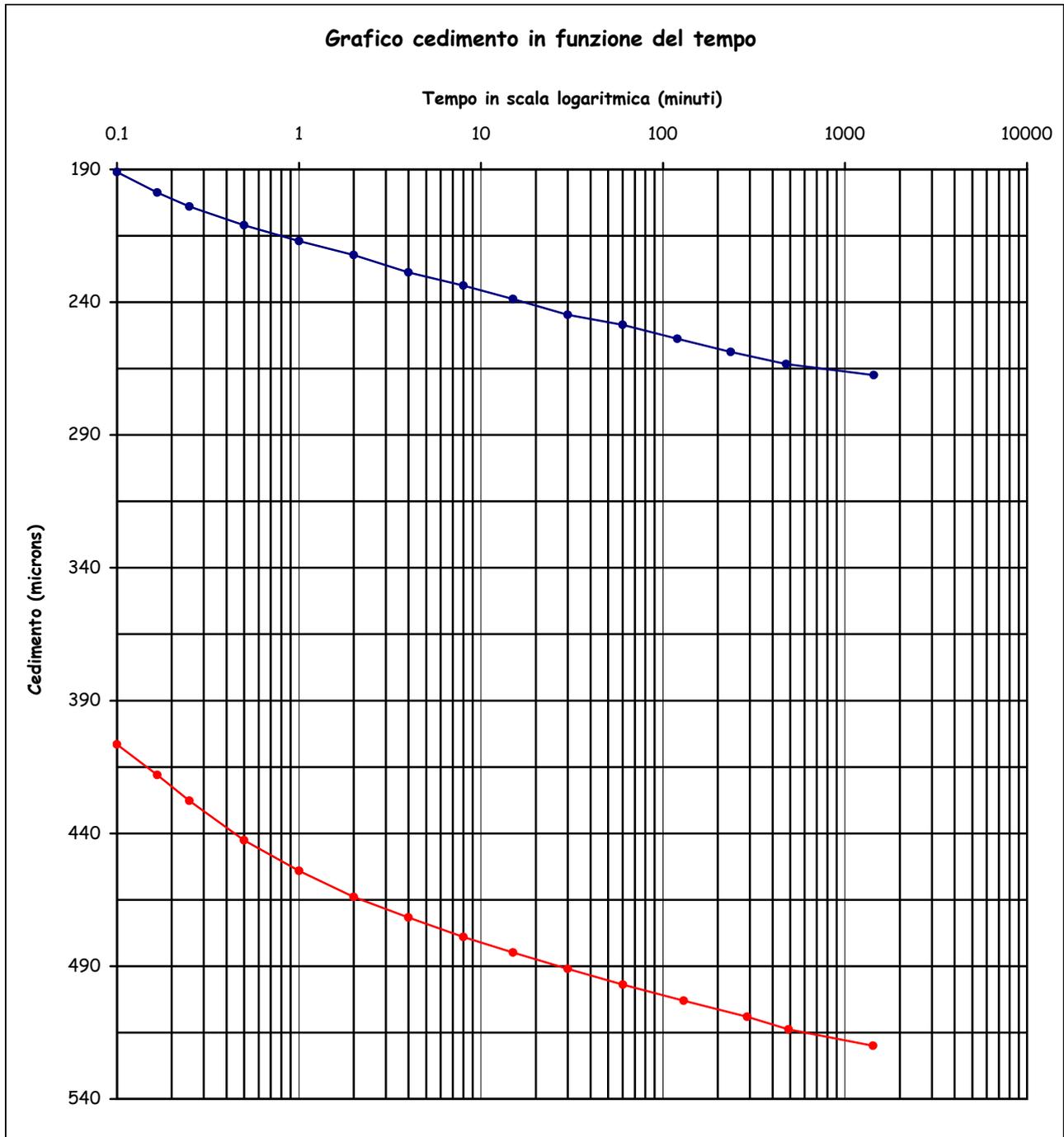
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

LOCALITA': Burlazzo

Data prova: 16/09/19 - 30/09/19

**Prova edometrica a gradini di carico costante (UNI CEN ISO/TS 17892-5)**



Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1629/2019**

<b>CAMPIONE S1Cr1</b> profondità 8.6 - 8.8 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Burlazzo	Data prova: 26/09/19 - 04/10/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Peso di volume naturale iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	18.0	18.0	18.0
Peso di volume umido finale (kN/m <sup>3</sup> )	19.1	19.6	20.3
Peso di volume secco iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	14.2	14.2	14.3
Peso di volume secco finale (kN/m <sup>3</sup> )	14.6	14.9	15.5
Contenuto d'acqua iniziale (%)	27.05	26.25	26.08
Contenuto d'acqua finale (%)	30.56	30.89	31.22
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.0060	0.0060	0.0060
Sigma (kPa)	73.6	122.6	171.6
Tau a rottura (kPa)	49.7	80.4	112.9

Provino 1		Provino 2		Provino 3	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
0.05	8.9	0.07	8.1	0.04	10.3
0.05	8.9	0.16	12.3	0.12	15.3
0.10	12.0	0.22	14.5	0.16	18.6
0.18	11.7	0.32	20.3	0.24	26.4
0.18	11.7	0.46	33.4	0.33	42.8
0.25	13.6	0.60	42.2	0.45	51.4
0.38	18.6	0.74	49.2	0.56	56.9
0.44	21.1	0.89	53.3	0.71	64.6
0.50	23.6	1.09	60.2	0.84	72.9
0.60	30.9	1.29	64.6	0.99	80.7
0.72	36.4	1.50	68.0	1.15	86.7
0.84	40.6	1.71	70.2	1.32	92.5
0.97	43.6	1.95	73.5	1.52	98.3
1.08	46.1	2.21	75.7	1.71	103.0
1.21	47.8	2.51	77.6	1.92	106.3
1.33	48.9	2.82	78.7	2.16	109.3
1.51	48.1	3.13	79.8	2.41	111.8
1.64	49.7	3.43	80.4	2.64	112.9
1.76	49.4	3.73	79.8	2.89	112.9
1.95	48.9	4.09	79.6	3.13	112.4
2.08	48.6	4.40	78.5	3.37	111.5

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



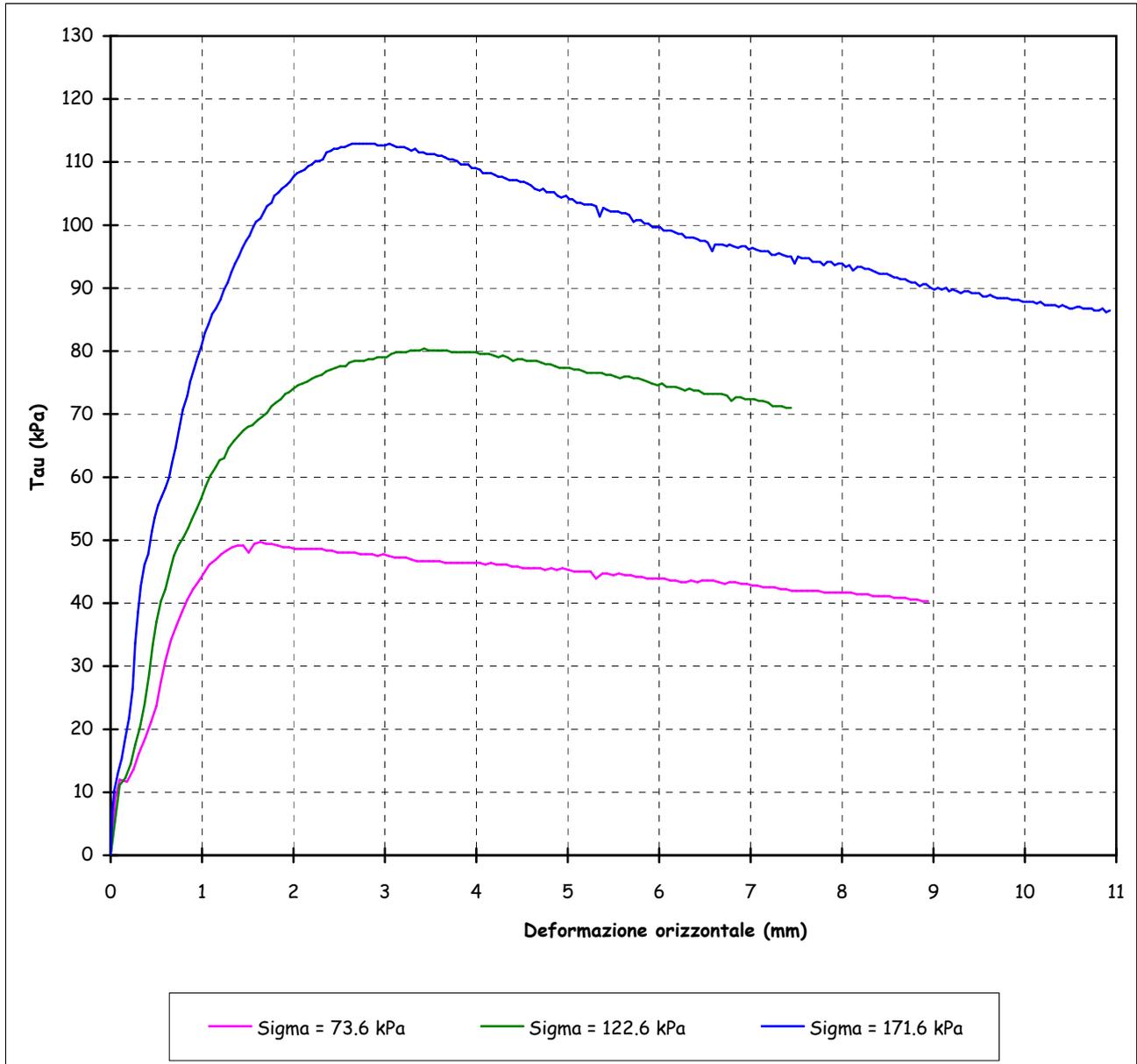
**CERTIFICATO DI PROVA N.1629/2019**

**CAMPIONE S1Cr1** profondità 8.6 - 8.8 m  
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Burlazzo

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 153/19 del 11/09/19  
Data prova: 26/09/19 - 04/10/19

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

**Grafico deformazione orizzontale - Tau**



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Burlazzo

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 153/19 del 11/09/19

### Tabella riassuntiva Certificati di Prova n. 1626-1629/2019

CAMPIONE	S1Cr1
Profondità metri	8.6 - 8.8
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	22.24
Limite liquido (%)	53
Limite plastico (%)	25
Indice di plasticità (%)	28
Indice di consistenza	1.10
Indice di attività	0.85
Classificaz. Casagrande	CH
<b>Granulometria</b>	
Ghiaia (%)	20.3
Sabbia (%)	22.6
Limo (%)	35.4
Argilla (%)	21.6
<b>Classificazione UNI 10006</b>	
Gruppo	A7-6
Indice di gruppo	13
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	18.0
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	14.3
<b>Prova di taglio diretto</b>	
Coesione, C' (kPa)	1.9
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	32.8
<b>Prova edometrica</b>	
Rapporto di ricompressione, Rr	0.02020
Rapporto di compressione, Rc	0.10179
Rapporto di rigonfiamento, Rs	0.02078
Pressione di preconsolidazione, $\sigma'_{vmax}$ (kPa)	187
Cv (cm <sup>2</sup> /sec)	2.001E-02
K (cm/sec)	4.512E-08
Cv (cm <sup>2</sup> /sec)	1.072E-02
K (cm/sec)	4.016E-08

Michele Calmo



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

## Certificati di Prova n. 1630-1632/2019

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

SETTORE: meccanica delle terre

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo

DATA ESECUZIONE PROVE: 30/09/19 - 14/10/19

Oggetto: lavori di realizzazione del sistema integrato dei percorsi ciclabili dell'Arno e del sentiero della bonifica - tratto Fiume Arno Casentino. 2° stralcio - 3° lotto

CAMPIONI:

S2SPT1 profondità 3.00 - 3.45 m

### Prove eseguite

- 1 - Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)
- 2 - Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)
- 3 - Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)
- 4 - Analisi granulometrica per setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 5 - Analisi granulometrica della frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892-4)
- 6 - Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Lo sperimentatore

Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1630/2019**

**CAMPIONE S2SPT1** profondità 3.00 - 3.45 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo

Data apertura campione: 30/09/19

**Descrizione del campione**

Campione rimaneggiato da prova SPT  
da sondaggio eseguito a rotazione a carotaggio continuo

Limo sabbioso argilloso con elementi litici

colore marrone oliva chiaro

prove eseguite: umidità naturale, peso di volume, limiti, granulometria e taglio



Classe e grado di qualità (sec. A.G.I.)

Campione rimaneggiato Q-3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenza Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1630/2019**

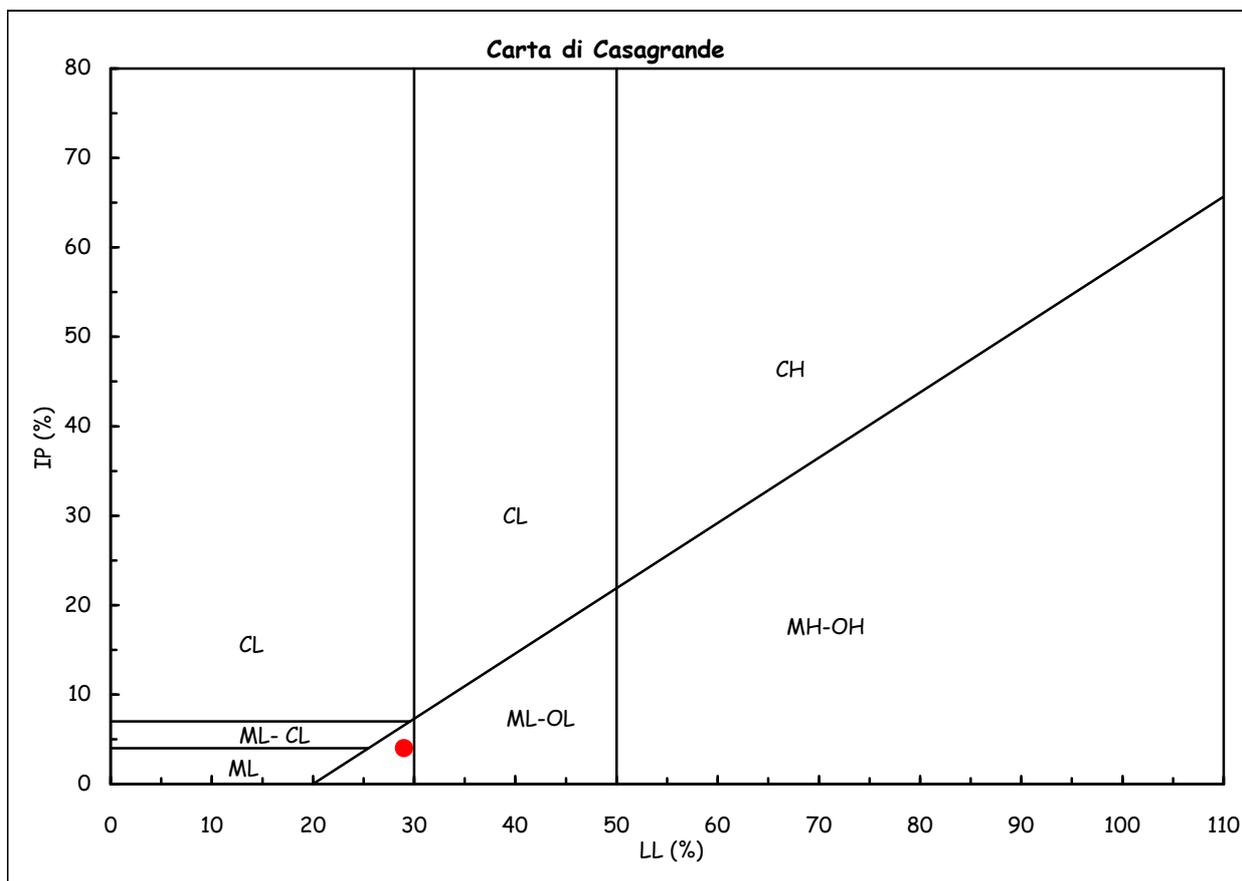
<b>CAMPIONE S2SPT1</b> profondità 3.00 - 3.45 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo	Data prova: 30/09/19 - 07/10/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Limiti di Atterberg (UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Contenuto d'acqua (Wn) =	20.42%	Limite di liquidità (LL) =	29%
Limite di plasticità (LP) =	25%	Indice di plasticità (IP) =	4%
Indice di consistenza (Ic) =	2.14	Indice di attività (Iat) =	0.18

**ML-OL = limi inorganici e limi ed argille organiche di bassa plasticità**



Classificazione UNI 10006

Gruppo: A4

Indice di gruppo: 3

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1631/2019**

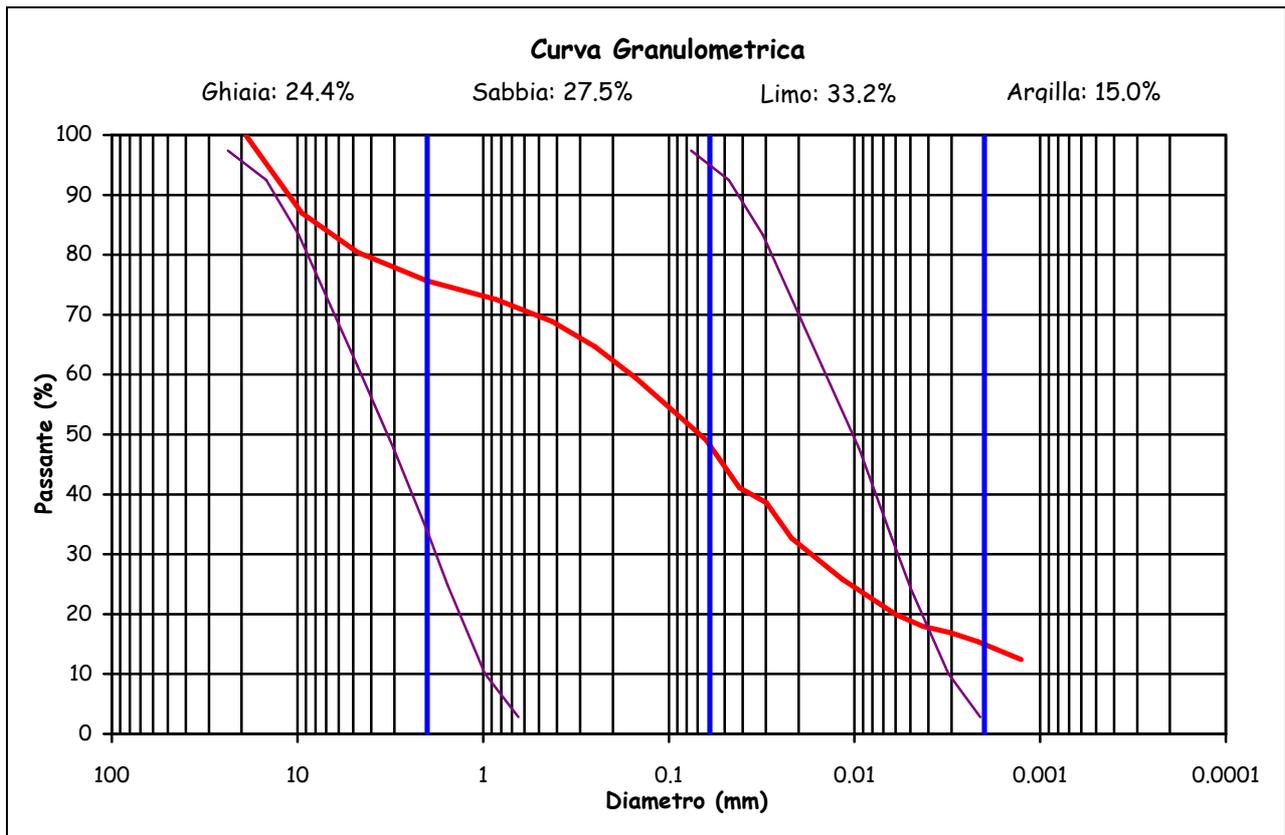
<b>CAMPIONE S2SPT1</b> profondità 3.00 - 3.45 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo	Data prova: 30/09/19 - 09/10/19

**Analisi granulometrica**

Setacciatura: per via umida (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Frazione fine: metodo del densimetro (UNI CEN ISO/TS 17892 4)

Setacciatura		Sedimentazione	
Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
19	100	0.0416	41.1
9.5	87.0	0.0298	38.6
4.75	80.4	0.0218	32.7
2	75.6	0.0116	25.8
0.850	72.5	0.0060	19.9
0.425	68.9	0.0043	18.0
0.250	64.7	0.0030	16.9
0.150	59.4	0.0022	15.4
0.063	49.1	0.0013	12.4



Definizione secondo A.G.I.:  
**Limo con sabbia ghiaioso argilloso**

Fusi granulometrici critici nei confronti della liquefazione (Tsuchida, 1970)

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi  
*Lorenzo Gambassi*



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni  
*Michele Caloni*



**CERTIFICATO DI PROVA N.1631/2019**

CAMPIONE S2SPT1 profondità 3.00 - 3.45 m

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

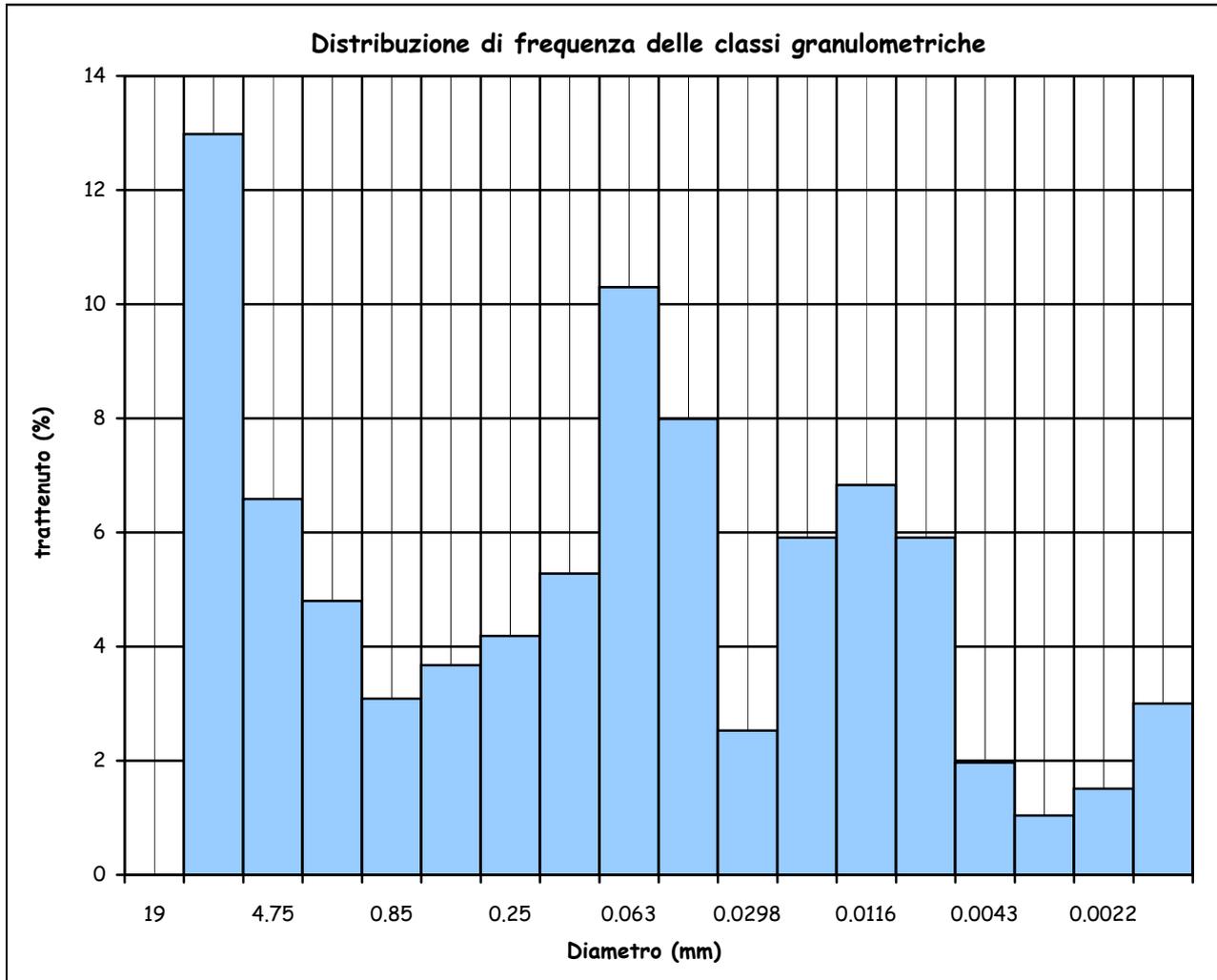
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo

Data prova: 30/09/19 - 09/10/19

**Analisi granulometrica**



Coefficiente di uniformità (Cu) = -

Coefficiente di curvatura (Cc) = -

Mediana 0.0706

Moda 9.5000

Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni

**CERTIFICATO DI PROVA N.1632/2019**

<b>CAMPIONE S2SPT1</b> profondità 3.00 - 3.45 m	Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019
COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino	V.A. n. 153/19 del 11/09/19
LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo	Data prova: 04/10/19 - 14/10/19

Contenuto d'acqua (UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Peso di volume (UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Peso di volume naturale iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	19.2	19.2	19.2
Peso di volume umido finale (kN/m <sup>3</sup> )	19.5	20.1	20.7
Peso di volume secco iniziale (kN/m <sup>3</sup> )	15.7	15.7	15.7
Peso di volume secco finale (kN/m <sup>3</sup> )	16.3	16.9	17.4
Contenuto d'acqua iniziale (%)	22.64	22.72	22.80
Contenuto d'acqua finale (%)	19.53	19.13	18.95
Velocità di deformazione (mm/min.)	0.0030	0.0030	0.0030
Sigma (kPa)	49.0	98.1	147.1
Tau a rottura (kPa)	39.5	73.8	107.1

Provino 1		Provino 2		Provino 3	
Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau	Scorrimento	Tau
(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
0.10	7.8	0.13	8.1	0.14	9.2
0.22	11.1	0.30	19.5	0.33	33.6
0.37	15.6	0.51	30.9	0.57	48.3
0.55	19.8	0.75	37.5	0.83	59.7
0.77	22.3	1.01	45.6	1.12	69.3
1.00	26.1	1.34	51.9	1.49	77.9
1.28	28.9	1.67	56.6	1.87	84.5
1.56	30.9	2.07	61.1	2.31	90.0
1.89	33.4	2.47	64.1	2.75	95.3
2.23	35.3	2.94	67.1	3.26	98.9
2.60	36.4	3.43	69.3	3.81	101.4
3.00	37.5	3.96	71.0	4.42	102.2
3.44	38.1	4.54	71.3	5.03	103.6
3.91	38.6	5.13	72.1	5.70	103.8
4.37	38.6	5.76	72.4	6.42	104.9
4.89	38.6	6.45	72.9	7.16	105.5
5.41	38.9	7.16	73.2	7.95	106.3
5.99	39.5	7.90	73.8	8.78	107.1
6.55	39.2	8.65	73.2	9.60	105.5
7.12	39.2	9.38	72.7	10.44	104.1
7.70	38.9	10.14	72.4	11.26	101.6

Lo sperimentatore

Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio

Geol. Michele Caloni



**CERTIFICATO DI PROVA N.1632/2019**

**CAMPIONE S2SPT1** profondità 3.00 - 3.45 m

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino

LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo

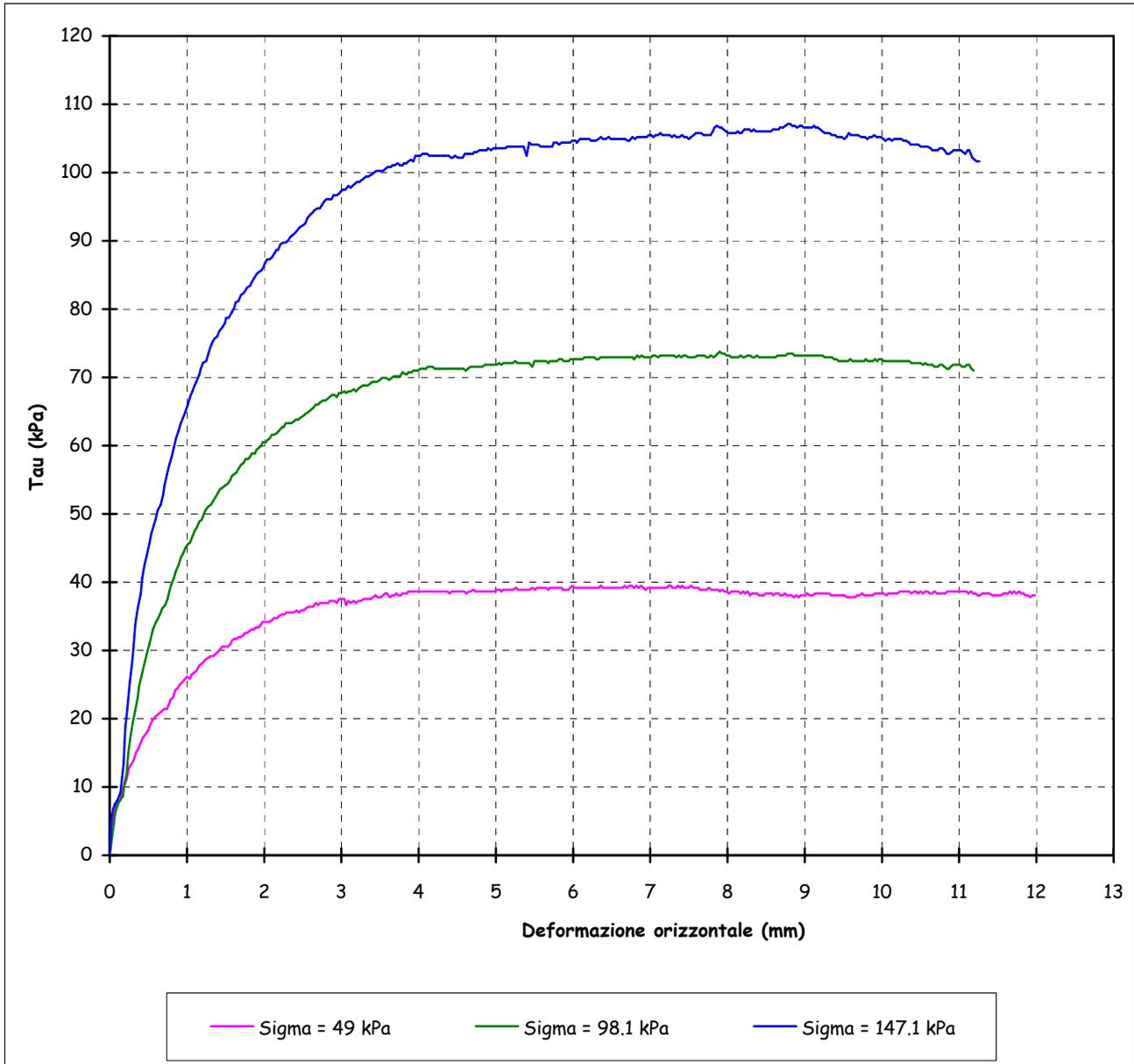
Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019

V.A. n. 153/19 del 11/09/19

Data prova: 04/10/19 - 14/10/19

Prova di taglio diretto (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

**Grafico deformazione orizzontale - Tau**



Lo sperimentatore  
Geol. Lorenzo Gambassi



Il direttore del Laboratorio  
Geol. Michele Caloni



**IGETECMA s.n.c.**

Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Concessione ministeriale D.M. 54143 del 7/11/05

COMMITTENTE: Unione Comuni Montani Casentino  
LOCALITA': Fiume Arno, Burlazzo

Montelupo Fiorentino, li 30/10/2019  
V.A. n. 153/19 del 11/09/19

**Tabella riassuntiva Certificati di Prova n. 1630-1632/2019**

<b>CAMPIONE</b>	<b>S2SPT1</b>
Profondità metri	3.00 - 3.45
<b>Limiti di Atterberg</b>	
Umidità naturale (%)	20.42
Limite liquido (%)	29
Limite plastico (%)	25
Indice di plasticità (%)	4
Indice di consistenza	2.14
Indice di attività	0.18
Classificaz. Casagrande	ML-OL
<b>Granulometria</b>	
Ghiaia (%)	24.4
Sabbia (%)	27.5
Limo (%)	33.2
Argilla (%)	15.0
<b>Classificazione UNI 10006</b>	
Gruppo	A4
Indice di gruppo	3
<b>Parametri fisici</b>	
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19.2
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15.7
<b>Prova di taglio diretto</b>	
Coesione, C' (kPa)	5.8
Angolo di resistenza al taglio, $\phi'$ (°)	34.6

Michele Calmo