



Comune di Casola Valsenio

PROGETTO DEFINITIVO  
“Intervento di nuova costruzione di centro sportivo  
di Casola Valsenio (RA)  
per il campo da calcio a 11.  
Area di intervento denominata “Furina”

# B\_RGS

## RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Codice: S19118-PD-RE-001-1



REV.	DATA	REDATTO	CONTROLLATO
0	Ott. 2019	WR	FM
1	14/11/2019	WR	FM
2			

APPROVATO
GF
GF





## INDICE

<b>1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
2.2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	7
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE .....</b>	<b>8</b>
<b>4. CENNI SULLA GEOLOGIA DELL'AREA .....</b>	<b>10</b>
<b>5. INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI.....</b>	<b>12</b>
5.1. PREMESSA .....	12
5.2. CAMPAGNA INDAGINI 2018 .....	12
5.2.1. Indagini in sito.....	12
5.2.2. Prove di laboratorio.....	13
5.3. INDAGINI PRECEDENTI.....	14
<b>6. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>16</b>
6.1. UNITÀ GEOTECNICHE.....	16
6.2. LIVELLI PIEZOMETRICI .....	16
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>17</b>
7.1. PREMESSA .....	17
7.2. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	17
7.3. MATERIALI A GRANA FINE (LIMI E ARGILLE).....	17
7.3.1. Peso di volume $\gamma$ .....	17
7.3.2. Resistenza al taglio non drenata $c_u$ .....	17
7.3.3. Resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci .....	18
7.3.4. Caratteristiche di deformabilità.....	18
7.4. AMMASSI ROCCIOSI (SUBSTRATO) .....	19
7.5. PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO.....	21
<b>8. CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE .....</b>	<b>23</b>
<b>9. SISMICITÀ STORICA.....</b>	<b>28</b>
<b>10. SORGENTI SIMOGENETICHE.....</b>	<b>30</b>
<b>11. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>33</b>
<b>12. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>35</b>
12.1. PREMESSA.....	35

12.2.	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	35
12.3.	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE .....	36
12.4.	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	37
<b>13.</b>	<b>SUSCETTIBILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>38</b>

## FIGURE

FIGURA 3-1:	UBICAZIONE DELL'AREA IN OGGETTO (DA GOOGLE EARTH, NON IN SCALA). IN TRATTEGGIO GIALLO L'AREA DI STUDIO .	8
FIGURA 3-2:	DETTAGLIO DELL'AREA DI STUDIO, IL CUI PERIMETRO È INDICATO CON LINEA ROSSA (DA RIF. [1]) .....	9
FIGURA 4-1:	STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DELL'AREA (NON IN SCALA, DA RIF. [1]) .....	11
FIGURA 5-1:	PLANIMETRI DELL'AREA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI (SCALA 1:1.000) .....	15
FIGURA 7-1:	SCHEMA CLASSIFICATIVO GSI PER AMMASSI ETEROGENEI FLYSCHOIDI .....	19
FIGURA 8-1:	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA (ALLEGATO "B" ALLA D.G.R. N.1164/2018) .....	23
FIGURA 8-2:	MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA ESPRESSA IN TERMINI DI ACCELERAZIONE MASSIMA DEL SUOLO (AMAX) CON PROBABILITÀ DI ECCEDEXENZA DEL 10% IN 50 ANNI RIFERITA A SUOLI MOLTO RIGIDI (VS,30>800 M/S) – DA INGV .....	24
FIGURA 9-1:	STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CASOLA VALSENIO [44.223, 11.625] .....	29
FIGURA 10-1:	SORGENTI SISMOGENETICHE CONTENUTE NELLA NUOVA VERSIONE DEL "DATABASE OF POTENTIAL SOURCES FOR EARTHQUAKES LARGER THAN M 5.5 IN ITALY" PER L'AREA IN OGGETTO. IL SIMBOLO GIALLO INDICA L'AREA DI STUDIO .....	31
FIGURA 10-2:	QUADRO RIASSUNTIVO DELLA SORGENTE SISMOGENETICA COMPOSITA CASTEL SAN PIETRO TERME-MELDOLA (ITCS001)	31
FIGURA 10-3:	QUADRO RIASSUNTIVO DELLA SORGENTE SISMOGENETICA COMPOSITA BORE-MONTEFELTRO-FABRIANO-LAGA (ITCS027)	32
FIGURA 10-4:	QUADRO RIASSUNTIVO DELLA SORGENTE SISMOGENETICA COMPOSITA CASTELVETRO DI MODENA-CASTEL SAN PIETRO TERME (ITCS047) .....	32
FIGURA 11-1:	ZONE SISMOGENETICHE PER LA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DI RIFERIMENTO .....	34
FIGURA 11-2:	VALORI DI $M_{WMAX}$ PER LE ZONE SISMOGENETICHE DI ZS9 .....	34

## TABELLE

TABELLA 5-1:	RIEPILOGO DELLE INDAGINI IN SITO ESEGUITE NELLA CAMPAGNA 2018 .....	12
TABELLA 5-2:	RIEPILOGO DELLE PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE NELLA CAMPAGNA 2018 .....	13
TABELLA 7-1:	PARAMETRI DI INPUT E RESISTENZA DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....	20
TABELLA 7-2:	PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER LE UNITÀ GEOLOGICO-TECNICHE INDIVIDUATE .....	21
TABELLA 8-1:	VALORI DI ACCELERAZIONE MASSIMA DEL SUOLO $A_g$ CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DEL 10% IN 50 ANNI, RIFERITO A SUOLI RIGIDI CARATTERIZZATI DA $V_{s,30}>800$ M/S .....	24
TABELLA 8-2:	VALORI DEI PARAMETRI DI $A_g$ , $F_0$ , $T_c^*$ PER I PERIODI DI RITORNO $T_R$ DI RIFERIMENTO .....	25
TABELLA 9-1:	STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CASOLA VALSENIO [44.223, 11.625] .....	28

## ELENCO DELLE APPENDICI

APPENDICE 1: GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

APPENDICE 2: GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE CORRELAZIONI DA PROVE CPT

APPENDICE 3: GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE CORRELAZIONI DA PROVE SPT IN FORO

## 1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Il presente documento è stato redatto nell'ambito della progettazione definitiva per "Intervento di nuova costruzione del centro sportivo di Casola Valsenio (RA) – Campo di calcio a 11" e riguarda gli aspetti geotecnici e sismici relativi all'area di intervento.

Il progetto prevede la realizzazione di un centro sportivo destinato prevalentemente alla pratica sportiva del gioco "calcio a 11".

L'ipotesi progettuale si sviluppa lungo una dorsale (percorso pedonale con pendenza inferiore all'8%) che distribuisce da ovest a est i seguenti servizi:

- l'area parcheggi;
- un edificio adibito a spogliatoi atleti e arbitri di un solo piano;
- un campo da calcio a 11 in erba naturale provvisto di tribuna scoperta.

La presente relazione raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili per il sito, derivanti sia da fonti bibliografiche sia da indagini pregresse, oltre a quelle realizzate nel 2018 nell'ambito del presente progetto.

Sulla base di tali dati, verranno di seguito descritte le principali peculiarità di carattere geotecnico e sismico dell'area connesse alla realizzazione dell'intervento in progetto. In sintesi, saranno trattati i seguenti argomenti:

1. inquadramento geografico generale;
2. descrizione delle indagini geognostiche disponibili;
3. ricostruzione del modello geotecnico di riferimento;
4. caratterizzazione geotecnica delle unità stratigrafiche;
5. classificazione sismica dell'area e pericolosità sismica di base;
6. analisi della sismicità e della magnitudo storica;
7. individuazione delle principali strutture sismogenetiche;
8. definizione della magnitudo e dell'azione sismica di riferimento;
9. analisi della suscettibilità ai fenomeni di liquefazione.

## 2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Raccomandazioni AGI giugno 1977 “Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”;
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni;
- AGI, marzo 2005, “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, Linee Guida”;
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- D.M. 17/01/2018, aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Delibera di Giunta regionale n. 1164 del 23/07/2018 – “Aggiornamento della classificazione sismica regionale di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia-Romagna”;
- Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21/01/2019, n. 7 recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17/01/2018”;
- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.

### 2.2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Unione della Romagna Faentina, Settore Lavori Pubblici - Intervento di nuova costruzione del centro sportivo di Casola Valsenio (RA), Area d’intervento denominata “Furina”. Relazione geologica a firma del Dott. Geol. Alessandro Poggiali, novembre 2018.

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

L'area interessata dalla costruzione del nuovo centro sportivo di Casola Valsenio si trova in località "Furina", a N rispetto al nucleo abitato storico di Casola Valsenio. Ad essa si accede percorrendo la S.P. n.70 "Strada della Lavanda", attraverso un accesso carrabile posto un centinaio di metri a valle rispetto al bivio con la via Macello, che poi scende verso il centro del paese.

Nella Carta Tecnica Regionale dell'Emilia-Romagna, l'area ricade nella Tavola n. 238SE in scala 1:25.000, nella Sezione n. 238160 "Casola Valsenio" in scala 1:10.000 e nell'Elemento n. 238161 alla scala 1:5.000.

L'area si trova su un ripiano terrazzato posta, a quote comprese tra 230 e 245 metri slm, in sinistra idrografica del torrente Senio.

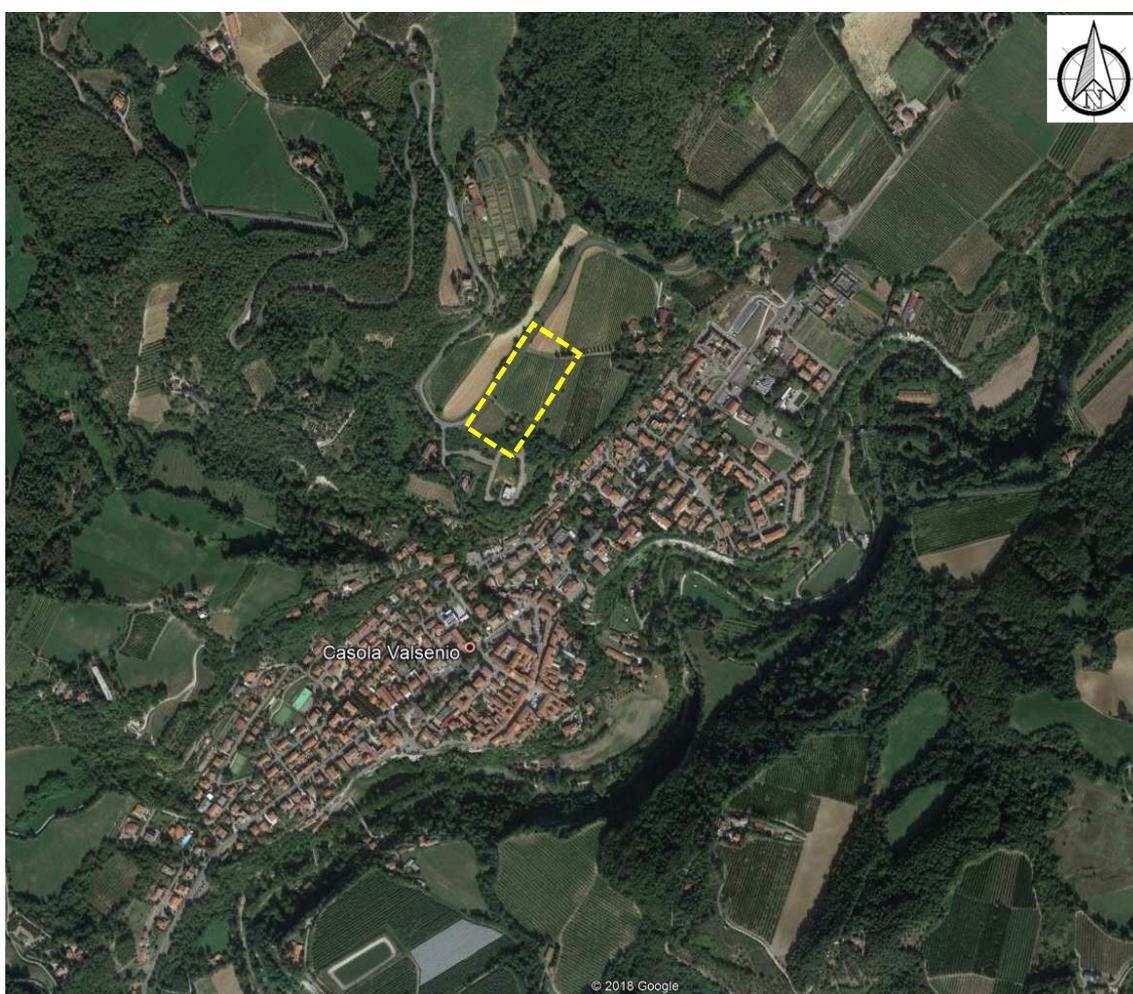


Figura 3-1: Ubicazione dell'area in oggetto (da Google Earth, non in scala). In tratteggio giallo l'area di studio



Figura 3-2: Dettaglio dell'area di studio, il cui perimetro è indicato con linea rossa (da Rif. [1])

## 4. CENNI SULLA GEOLOGIA DELL'AREA

Facendo riferimento alla Relazione geologica redatta dal Dott. Geol. Alessandro Poggiali (Rif. [1]), l'area in cui si inserisce il sito di intervento è caratterizzato dalla presenza delle unità geologiche appartenenti alla Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola del versante settentrionale dell'Appennino romagnolo.

Dal punto di vista strutturale le formazioni rocciose del substrato risultano disposte secondo un'ampia monoclinale a debole inclinazione verso nord-est, disturbata da pieghe e faglie ad andamento appenninico (direzione parallela all'asse della catena), che si sono formate durante le fasi orogenetiche del Pliocene e del Pleistocene inferiore, e da faglie ad andamento anti-appenninico (direzione ortogonale all'asse della catena), di età più recente, a componente trascorrente, in corrispondenza della quali si sono impostati i principali corsi d'acqua. Nell'area in esame il substrato roccioso è rappresentato dalla Formazione Marnoso-Arenacea, un'unità geologica di età Miocenica costituita da rocce marine terrigene stratificate (alternanze arenaceo-pelitiche, con intervalli di marne emipelagiche), che hanno avuto origine dal riempimento, in fasi successive, di un bacino di avanfossa prospiciente la catena appenninica da parte di depositi torbiditici originati dallo smantellamento della catena alpina.

L'area sub-pianeggiante individuata per la realizzazione del nuovo campo da calcio è posta centralmente, a quota media intorno a 230 m s.l.m., su di un ripiano terrazzato in sinistra idrografica del Fiume Senio, la cui superficie inclina mediamente di 5-6° verso Est e risulta elevata di oltre una trentina di metri rispetto al vasto terrazzo fluviale su cui insiste il Centro Storico di Casola Valsenio e di un'ottantina di metri rispetto all'alveo fluviale attuale.

Nella Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna (Figura 4-1) il ripiano terrazzato in oggetto è distinto in un paio di equivalenti unità stratigrafiche terrazzate di origine detritico/alluvionale (Furina e Cà Bartoli) separate da una fascia eluvio-colluviale (a4), ambedue riferite al Subsistema di Villa Verucchio (AES7) del Pleistocene superiore; mentre la copertura del sottostante terrazzo di Casola Valsenio è riferita al Subsistema di Ravenna (AES8) del Pleistocene finale/Olocene.

La scarpata che raccorda il "ripiano di Furina/Cà Bartoli" con il terrazzo di Casola Valsenio è in parte modellata, almeno nella porzione inferiore, direttamente sui litotipi marnoso-arenacei stratificati del substrato (*bedrock*) caratteristico della zona, corrispondenti con il Membro di Castel del Rio (FMA12) della Formazione Marnoso-arenacea romagnola. La giacitura del substrato roccioso presenta omogenea immersione verso NE ed inclinazione variabile tra 10 e 15 gradi (giacitura a traverpoggio rispetto alla scarpata fluviale), che corrisponde grosso modo anche con l'andamento della superficie topografica del "ripiano di Furina/Cà Bartoli".

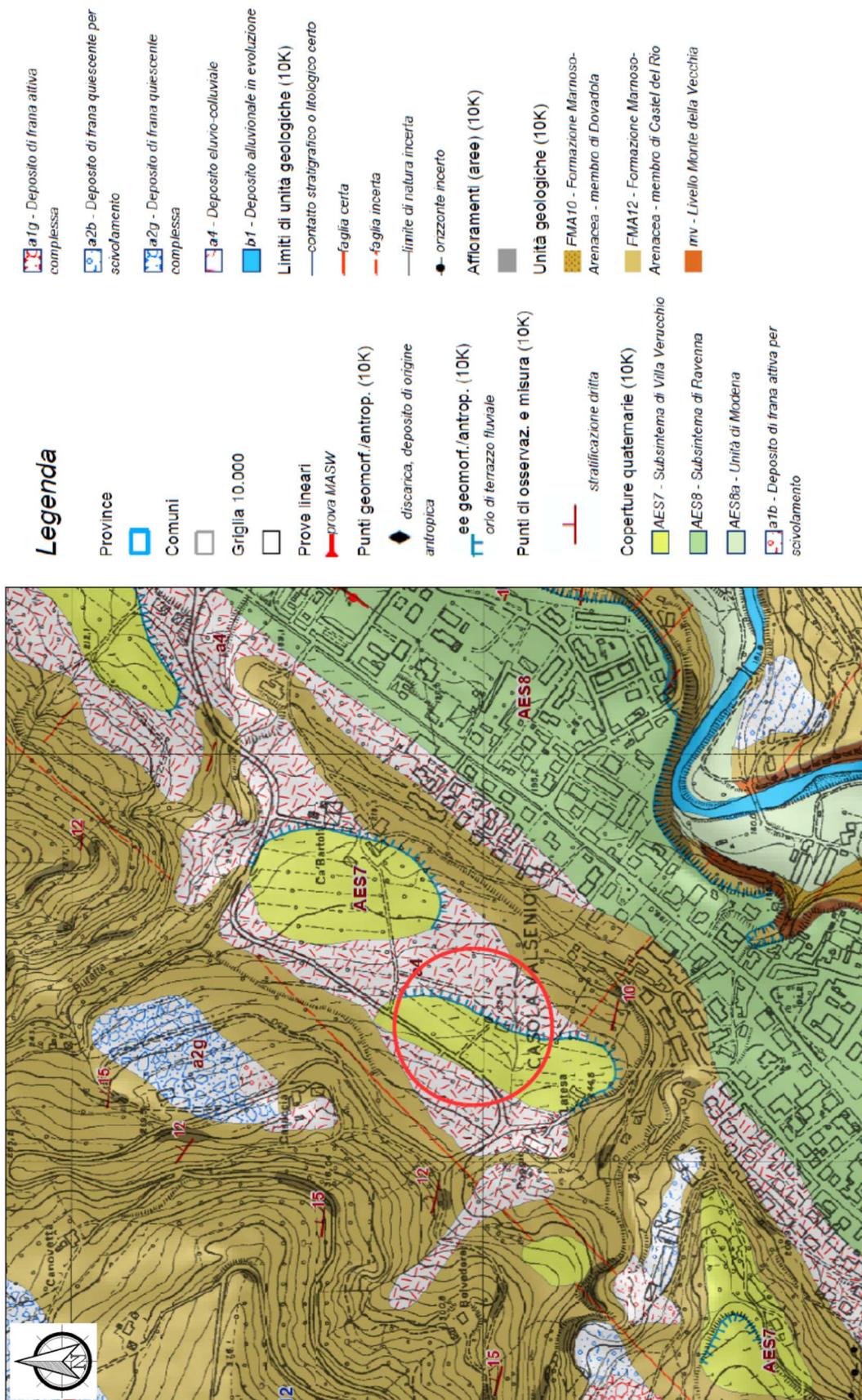


Figura 4-1: Stralcio della carta geologica dell'area (non in scala, da Rif. [1])

## 5. INDAGINI GEOGNOSTICHE DISPONIBILI

### 5.1. PREMESSA

Per la definizione del modello geotecnico dell'area sono state utilizzate le indagini geognostiche (sondaggi, prove penetrometriche, prove geofisiche e di laboratorio) effettuate nel 2018 nell'ambito del presente studio (Rif. [1]), integrate con alcune indagini (sondaggi, prove penetrometriche e prove geofisiche) eseguite in corrispondenza del fabbricato "La Tesa", appena a sud dell'area di intervento, e presso la nuova lottizzazione "Furina".

In Figura 5-1 è riportata la planimetria dell'area, in scala 1:1.000, con l'ubicazione di tutte le indagini disponibili.

### 5.2. CAMPAGNA INDAGINI 2018

#### 5.2.1. INDAGINI IN SITO

La campagna di indagini in sito è stata eseguita nel mese di agosto 2018 a cura della Elletipi Srl di Ferrara, ha visto l'esecuzione delle seguenti indagini:

- n. 2 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (S1-S2), spinti rispettivamente a 22.5 e 17.5 metri dal piano di campagna. Durante l'esecuzione dei sondaggi, sono state realizzate le seguenti attività:
  - rilievo della stratigrafia;
  - esecuzione di n.4 prove geotecniche in foro di tipo SPT;
  - prelievo di n.2 campioni indisturbati e n.3 rimaneggiati;
  - rilievo del livello di falda in corso di perforazione.
- n. 5 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT1÷5) spinte a rifiuto a profondità comprese tra 9.4 e 16.8 metri dal piano di campagna.
- n.2 prospezioni sismiche con il metodo a rifrazione in onde P;
- n.2 prove sismiche con tecnica MASW.

Nella seguente Tabella 5-1 si riporta la descrizione delle indagini eseguite, con l'indicazione della tipologia di prova, della data di esecuzione, della quota (desunta dal rilievo dello stato di fatto) e della profondità raggiunta. Nei fori di sondaggio non sono stati installati piezometri.

Tabella 5-1: Riepilogo delle indagini in sito eseguite nella campagna 2018

Sigla	Tipologia prova	Data	Quota [m s.l.m.]	Prof. [m da p.c.]
S1	Sondaggio stratigrafico	09-10/08/2018	239.9	22.5
S2	Sondaggio stratigrafico	27-28/08/2018	233.6	17.5
CPT1	Prova penetrometrica	13/08/2018	240.5	9.4

Sigla	Tipologia prova	Data	Quota [m s.l.m.]	Prof. [m da p.c.]
CPT2	Prova penetrometrica	10/08/2018	239.4	16.8
CPT3	Prova penetrometrica	10/08/2018	234.1	12.8
CPT4	Prova penetrometrica	10/08/2018	236.6	14.6
CPT5	Prova penetrometrica	10/08/2018	237.5	16.8
Rp valle	Sismica a rifrazione (onde P)	10/08/2018	Lunghezza: 120 m	
Rp monte	Sismica a rifrazione (onde P)	10/08/2018	Lunghezza: 120 m	
Masw1	Prova sismica Masw	10/08/2018	Lunghezza: 69 m	
Masw1	Prova sismica Masw	10/08/2018	Lunghezza: 46 m	

## 5.2.2. PROVE DI LABORATORIO

Sui 5 campioni (2 indisturbati e 3 rimaneggiati) prelevati nei sondaggi elencati in precedenza, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio geotecnico:

- caratteristiche fisiche (descrizione,  $w$ ,  $\gamma$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $G_s$ );
- limiti di Atterberg;
- analisi granulometrica;
- prova di taglio diretto (TD).

Nella seguente Tabella 5-2 si riporta l'elenco dei campioni disponibili e delle prove di laboratorio effettuate; per i certificati delle prove di laboratorio si rimanda al documento Rif. [1].

Tabella 5-2: Riepilogo delle prove di laboratorio eseguite nella campagna 2018

Sondaggio	Campione	Profondità [m da p.c.]	Caratteristiche fisiche	Limiti di Atterberg	Analisi granulometrica	Prova di taglio diretto (TD)
S1	CR1	1.50÷2.00	X	X	X	X
S1	SH1	3.00÷3.60	X	X	X	X
S2	CR1	1.50÷2.00	X	X	X	
S2	SH1	3.00÷3.60				
S2	CR2	7.00÷7.50	X	X	X	X

### 5.3. INDAGINI PRECEDENTI

Le indagini precedenti, eseguite nell'area di intervento o nei lotti limitrofi, sono state eseguite presso il lotto "La Tesa" e nella lottizzazione "Furina"; in particolare, si tratta di:

- n. 2 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (S1 e S3), spinti rispettivamente a 22.5 e 17.5 metri dal piano di campagna;
- n. 2 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT1 e CPT3) spinte rispettivamente a 10.0 e 7.4 metri dal piano di campagna.
- n.1 prova sismica con tecnica HVSR.

I rapporti di prova delle indagini precedenti sono riportati in Rif. [1].

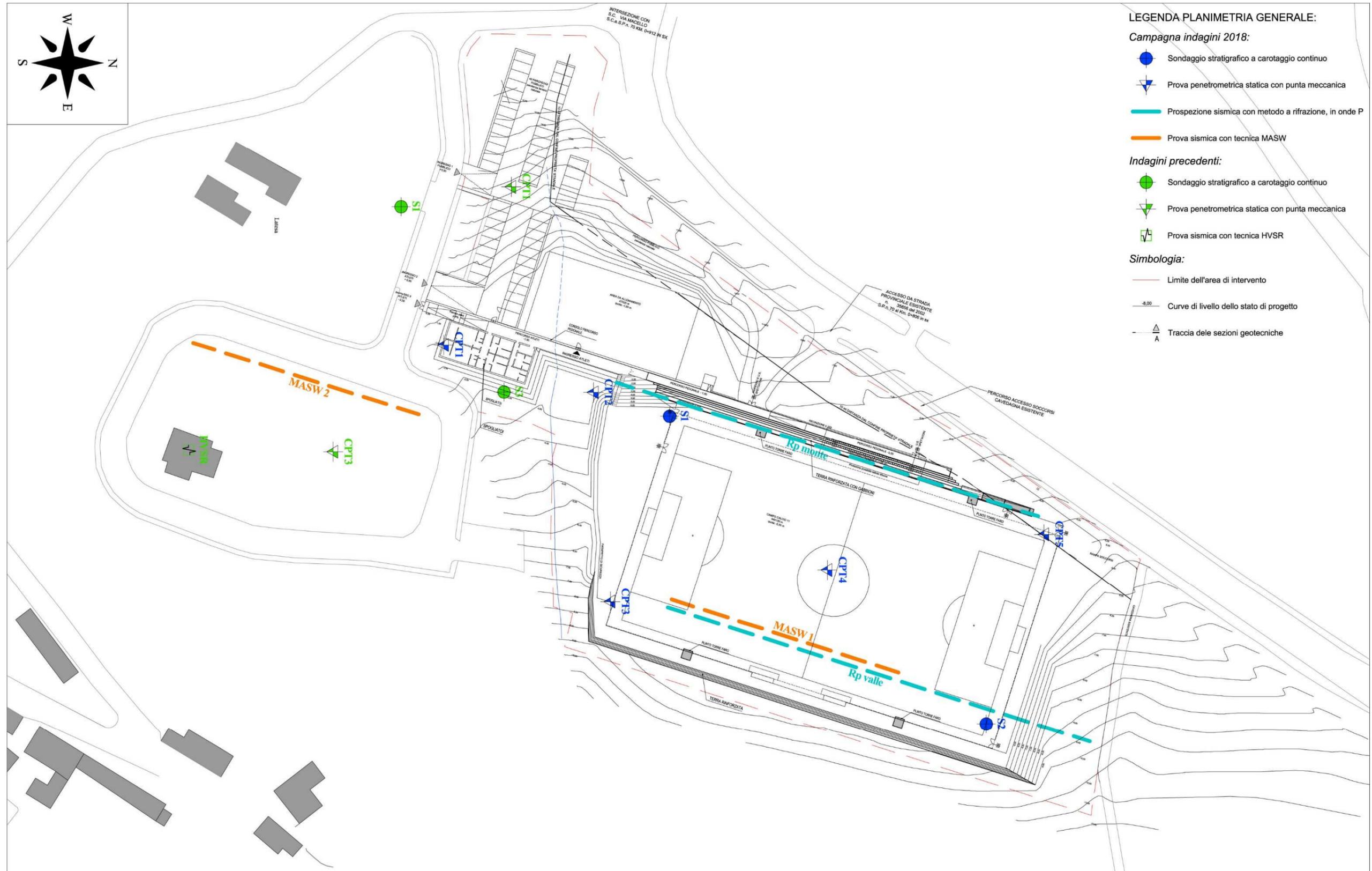


Figura 5-1: Planimetri dell'area con l'ubicazione delle indagini geognostiche disponibili (scala 1:1.000)

## 6. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

### 6.1. UNITÀ GEOTECNICHE

In riferimento alle condizioni geologiche dell'area, alle indagini geognostiche in sito ed alle prove di laboratorio geotecnico descritte in precedenza, è stato ricostruito il modello stratigrafico di riferimento. Esso prevede le seguenti unità geotecniche:

#### Depositi alluvionali

- Unità 1: argilla limosa passante a limo sabbioso argilloso, di colore marrone, con livelli decimetrici di sabbia limosa marrone; da mediamente consistente a consistente;
- Unità 2: ghiaia sub-arrotondata con limo sabbioso marrone, da addensata a molto addensata, con livelli di limo sabbioso con ghiaia;

#### Depositi del substrato

- Unità 3: marna argilloso-limosa di colore grigio-azzurra, alterata. (Porzione alterata della Formazione Marnoso Arenacea, FMA, alt);
- Unità 4: alternanza di arenaria di colore grigio-nocciola e marne argillose di colore grigio, in strati da decimetrici a metrici. (Formazione marnoso arenacea, FMA).

In linea generale, si individua uno spessore decrescente da nord verso sud di limi sabbiosi e limi argillosi (unità 1), che ricoprono l'unità 2, costituita da ghiaie con sabbie che rappresentano la base del terrazzo alluvionale antico. Al di sotto delle ghiaie, compare la Formazione Marnoso Arenacea di substrato (unità 4), caratterizzata al tetto da uno spessore dell'ordine di alcuni metri di alterazione (unità 3).

Per una migliore comprensione dell'assetto stratigrafico dell'area, si rimanda alla tavola "Sezioni geotecniche" allegata al progetto.

### 6.2. LIVELLI PIEZOMETRICI

Per quanto concerne i livelli di falda, durante l'esecuzione delle indagini in sito non è stata riscontrata una falda idrica sotterranea. L'unica lettura della falda disponibile, è stata realizzata all'interno del foro S2 in data 09 novembre 2018, ed ha restituito una soggiacenza di 14.18 metri da p.c, andando ad individuare un livello di falda all'interno dei depositi ghiaioso-sabbiosi alla base del terrazzo alluvionale.

In ogni modo, in accordo a quanto riportato nella relazione geologica Rif. [1], *il livello di falda staziona all'interno dei depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi; si può inoltre considerare che, anche in seguito ad intensi periodi di precipitazioni, tale livello vari all'interno dello spessore di tali alluvioni grossolane.*

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 7.1. PREMESSA

A partire dall'interpretazione delle indagini in sito disponibili, è stato possibile realizzare le sezioni geotecniche rappresentative dell'area di intervento, nelle quali sono state differenziate le unità stratigrafiche di riferimento. Nel presente paragrafo, in seguito alla descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geotecnica, saranno definiti i parametri di riferimento per ogni unità.

### 7.2. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica delle unità descritte al paragrafo precedente si basa principalmente sulle prove geotecniche in sito e di laboratorio realizzate nella campagna di indagini eseguita nel 2018, in sintesi:

- sondaggi geognostici;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove penetrometriche statiche a punta meccanica CPT;
- prove di laboratorio geotecnico sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nei fori di sondaggio.

I criteri adottati per l'interpretazione dei dati a disposizione, nella fattispecie i criteri adottati per i materiali a grana fine e per i termini lapidei del substrato, sono illustrati nei paragrafi seguenti.

### 7.3. MATERIALI A GRANA FINE (LIMI E ARGILLE)

#### 7.3.1. PESO DI VOLUME $\gamma$

Il valore del peso di volume  $\gamma$  è stato definito in riferimento alle prove di laboratorio geotecnico.

#### 7.3.2. RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA $c_u$

La resistenza al taglio non drenata  $c_u$  dei terreni prevalentemente limosi è stata valutata facendo riferimento:

- ai risultati delle prove penetrometriche statiche CPT;
- all'interpretazione delle prove con *pocket penetrometer* sui campioni di laboratorio;
- all'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT.

La determinazione di  $c_u$  da prove penetrometriche statiche è stata effettuata attraverso la seguente relazione empirica (Lunne T., Kleven A., 1981):

$$q_c = N_k \cdot C_u + \sigma_{v0}$$

nella quale per il fattore  $N_k$  sono stati assunti valori compresi fra 11 e 19, con valore medio 15.

Per quanto riguarda le prove SPT, la resistenza al taglio non drenata è stata determinata a partire dalla correlazione riportata nel Design Manual for Soil Mechanics DM-7.01 (Navfac):

$$c_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0.038 N_{\text{spt}} \text{ valida per terreni coesivi a bassa plasticità}$$

$$c_u \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 0.074 N_{\text{spt}} \text{ valida per terreni coesivi a media plasticità}$$

### 7.3.3. RESISTENZA AL TAGLIO IN TERMINI DI SFORZI EFFICACI

I parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci sono stati determinati facendo riferimento:

- ai risultati delle prove di laboratorio, in particolare delle prove di taglio diretto TD;
- ai risultati delle prove penetrometriche statiche CPT.

La coesione efficace è stata determinata, a partire dalla resistenza alla punta  $q_c$  delle prove penetrometriche, usando la correlazione di Powell (1988):

$$c' \text{ (kPa)} = 20 \cdot [q_c - (\sigma'_v \cdot q_{cNC1} + \sigma_v)]$$

dove:

$q_c$  = resistenza di punta della prova penetrometrica statica;

$\sigma_v, \sigma'_v$  = tensioni verticali (totale ed effettiva);

$q_{cNC1}$  =  $q_c$  equivalente per un suolo NC alla medesima profondità di calcolo.

Per la stima dell'angolo di attrito interno di picco è stata utilizzata la correlazione di Ladd (1975):

$$\varphi' = \frac{81.021}{\log(35 + I_p)} - 16.004$$

dove  $I_p$  è l'indice plastico.

Si ricorda come tale formulazione porta ad una sovrastima della resistenza al taglio dei terreni.

### 7.3.4. CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITÀ

I valori del modulo elastico operativo sono stati determinati facendo riferimento ai risultati delle prove penetrometriche statiche CPT.

Il modulo di deformazione confinato  $M$  da prove penetrometriche viene ricavato in accordo a quanto riportato nell'EC7-3 e risulta pari a:

$M = 10 q_c$  per i terreni sovraconsolidati

Il modulo di compressibilità non confinato  $E'$  è legato al modulo edometrico dalla relazione seguente:

$$E' = \frac{(1 + \nu) * (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} * M$$

essendo  $\nu$  = coefficiente di Poisson.

## 7.4. AMMASSI ROCCIOSI (SUBSTRATO)

Un ammasso roccioso è costituito da blocchi di materiale roccioso integro separati da giunti e/o da discontinuità. Il suo comportamento meccanico dipende, quindi, sia dalle proprietà meccaniche del materiale roccioso intatto sia dalle caratteristiche delle discontinuità.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica, l'ammasso roccioso può essere approssimato ad un mezzo continuo (sebbene fisicamente non lo sia) ed il suo comportamento descritto tramite parametri complessivi. In tal caso, si ricorre generalmente a schemi classificativi di tipo empirico (ad esempio GSI – Hoek, 2000) che sono in grado di fornire i parametri progettuali di uso comune e che hanno dimostrato nel corso degli anni la loro validità ed applicabilità a casi reali.

I valori dell'indice GSI sono stati stimati durante il rilievo di campagna sugli affioramenti naturali secondo le indicazioni di Marinos e Hoek (2001). In termini di composizione e struttura, le unità 3 e 4 ricadono rispettivamente nei "Type IX-X" e "Type IV-V" della tabella riportata in Figura 7-1. Per quanto riguarda le condizioni delle discontinuità, esse possono essere definite tra "poor" e "fair" per l'unità 3 e "fair" per l'unità 4.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007, under publication)		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)	DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES →					
Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.			VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered or oxidised surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings	
<b>STRUCTURE AND COMPOSITION</b>								
<b>TYPE I.</b> Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless	<b>TYPE II.</b> Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstones		80	I	II			
<b>TYPE III.</b> Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone	<b>TYPE IV.</b> Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts		70					
<b>TYPE V.</b> Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers	<b>TYPE VI.</b> Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers		60	III	IV	V	VI	
<b>TYPE VII.</b> Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend	<b>TYPE VIII.</b> Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong		50					
<b>TYPE IX.</b> Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces	<b>TYPE X.</b> Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure		40			VII	VIII	
<b>TYPE XI.</b> Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil			30					
			20	IX	X			
			10					XI
			N/A	N/A				

↑ INCREASE OF SANDSTONE BEDS THICKNESS (50cm)

→ Means deformation after tectonic disturbance

Figura 7-1: Schema classificativo GSI per ammassi eterogenei flyschoidi

Sulla base di tale tabella, è possibile assumere per l'unità 3 un intervallo di GSI compreso tra 20 e 30, mentre per l'unità 4 compreso tra 35 e 45.

La classificazione GSI è naturalmente legata al criterio di rottura di Hoek-Brown generalizzato per gli ammassi rocciosi (Hoek e Brown, 1997). Quest'ultimo rappresenta un involuppo di rottura curvo che, al contrario del classico criterio di Mohr-Coulomb, non può essere descritto da una coppia di

parametri (coesione ed angolo d'attrito) nel piano sforzo normale-sforzo di taglio. La formulazione originale prevede la descrizione dell'involuppo di rottura nel piano degli sforzi principali:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Recentemente gli stessi autori hanno proposto alcune modifiche (Hoek et al., 2002) alla procedura di derivazione dei parametri di resistenza volte a rendere più agevole il passaggio ai corrispondenti parametri di Mohr-Coulomb. Oltre al valore numerico di GSI, è necessario conoscere il valore di resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta ( $\sigma_{ci}$ ) e la costante del materiale  $m_i$ .

I valori della resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta e della costante del materiale sono ampiamente trattati nella letteratura tecnica (González de Vallejo et al., 2005; Bruschi, 2004) e, per i litotipi che caratterizzano l'ammasso roccioso in oggetto, presentano i seguenti valori di riferimento:

Roccia intatta	$\sigma_{ci}$ [MPa]	$m_i$
Arenaria	55÷140	17±4
Marna	20÷70	7±2

I valori di resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta risultano confermati da esperienze maturate dagli scriventi all'interno della stessa formazione rocciosa dove, a partire da prove di laboratorio, sono stati ottenuti valori pari a 55 MPa per l'arenaria e 40 MPa per la marna.

Secondo Marinós e Hoek (2001),  $\sigma_{ci}$  e  $m_i$  andrebbero stimati per le unità flyschoidi ricorrendo ad una media pesata sull'abbondanza relativa dei due diversi litotipi; a scopo cautelativo, nella presente caratterizzazione sono stati utilizzati i valori tipici del litotipo aventi caratteristiche geomeccaniche più scadenti, cioè della marna.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante il software RocLab della RocScience. In Tabella 7-1 si riporta il riepilogo dei dati di input ed i relativi parametri di resistenza dell'ammasso roccioso sia in termini di Hoek-Brown sia in termini di Mohr-Coulomb equivalenti. Nonostante l'introduzione delle specifiche indicazioni per ammassi rocciosi eterogenei (Marinós e Hoek, 2001) abbia reso l'applicazione della metodologia sufficientemente affidabile per applicazioni di tipo pratico, ai fini delle verifiche riportate nella Relazione Geologica, i parametri in termini di Mohr-Coulomb equivalenti sono stati cautelativamente ridotti rispetto alle risultanze indicate in Tabella 7-1.

Tabella 7-1: Parametri di input e resistenza dell'ammasso roccioso

Parametri di input	Unità di misura	3 FMA12 (sub. alterato)	4 FMA12 (substrato)
GSI	-	20	35
$\sigma_{ci}$	MPa	20	20
$m_i$	-	7	7

Parametri di Hoek-Brown			
$m_b$	-	0.402	0.687
$s$	-	0.0001	0.0007
$a$	-	0.544	0.516
Parametri di Mohr-Coulomb equivalenti			
$c'$	kPa	70	120
$\varphi'$	°	35	40

La valutazione del modulo di deformazione  $E'$  dell'ammasso roccioso è stato effettuato attraverso i valori di  $\sigma_{ci}$  e GSI, in accordo alla formulazione di Hoek et al. (1995):

$$E' = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \times 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)}, \text{ dove } \sigma_{ci} \text{ è espresso in MPa ed E in GPa.}$$

Tale formulazione trova applicazione nei casi di ammassi rocciosi nei quali la roccia intatta presenti una resistenza a compressione semplice inferiore a 100 MPa, quali quelli in oggetto.

Applicando i parametri di input riportati in Tabella 7-1, si ottengono valori di 0,795 GPa per l'unità 3 e di 1,880 GPa per l'unità 4; va segnalato come la correlazione citata, analogamente agli altri criteri per la determinazione del modulo di deformazione degli ammassi rocciosi, sovrastimi i valori del modulo pertanto, in sede di caratterizzazione, essi sono stati opportunamente e cautelativamente ridotti sulla base di dati acquisiti da pregresse esperienze su terreni analoghi.

## 7.5. PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

In Tabella 7-2 sono riportati i parametri geotecnici di riferimento per le unità stratigrafiche descritte al paragrafo 6.1, ottenuti dall'applicazione delle correlazioni indicate al paragrafo precedente.

In appendice al presente documento si riportano i grafici riassuntivi relativamente ai diversi parametri geotecnici descritti; in particolare, in Appendice 1 i grafici riassuntivi delle prove di laboratorio geotecnico, in Appendice 2 i grafici riassuntivi delle correlazioni da prove CPT e in Appendice 3 i grafici riassuntivi delle correlazioni da prove SPT in foro. Laddove le indagini a disposizione non hanno permesso una caratterizzazione affidabile, come nel caso dell'unità 2 ghiaioso-sabbiosa, la stima dei parametri è stata eseguita in riferimento alla bibliografia tecnica disponibile e/o a dati acquisiti da pregresse esperienze su terreni analoghi.

Tabella 7-2: Parametri di riferimento per le unità geologico-tecniche individuate

Unità	Descriz.	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$E'$ [MPa]
1	limo argilloso	18.5-19.0	100-150	5-7	26-28	10-15
2	ghiaia e sabbia	19.0-19.5	-	0	34-36	35-45
3	Formazione Marnoso Arenacea alterata	22.0-22.5	-	60-90	27-29	60-85

Unità	Descriz.	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\varphi'$ [°]	$E'$ [MPa]
4	Formazione Marnoso Arenacea	22.5-23.0	-	100-120	29-30	85-120

Legenda della tabella sopra riportata:

- $\gamma$  = peso di volume del terreno [kN/m<sup>3</sup>];
- $c_u$  = coesione non drenata [kPa];
- $c'$  = coesione efficace [kPa];
- $\varphi'$  = angolo d'attrito interno di picco [°];
- $E'$  = modulo di deformazione drenato [MPa].

## 8. CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, trova attuazione la Delibera di Giunta Regionale n.1164/2018, aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna, disposta con propria deliberazione n. 1435 del 2003. Nella fattispecie viene recepito il passaggio di 20 Comuni dalla zona 4 alla zona 3, il passaggio dei 7 Comuni dell'Alta Val Marecchia dalla Regione Marche alla Regione Emilia-Romagna e l'aggiornamento dei nuovi Comuni ottenuti per fusione di più Comuni. Per le parti non variate, permane la validità e l'efficacia della Delibera di Giunta Regionale n.1435/2003 che definiva le disposizioni in merito all'attuazione dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dall'allegato A della D.G.R. n.1164/2018, il Comune di Casola Valsenio risulta classificato in zona "2", come riportato in Figura 8-1.

ALLEGATO B

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna

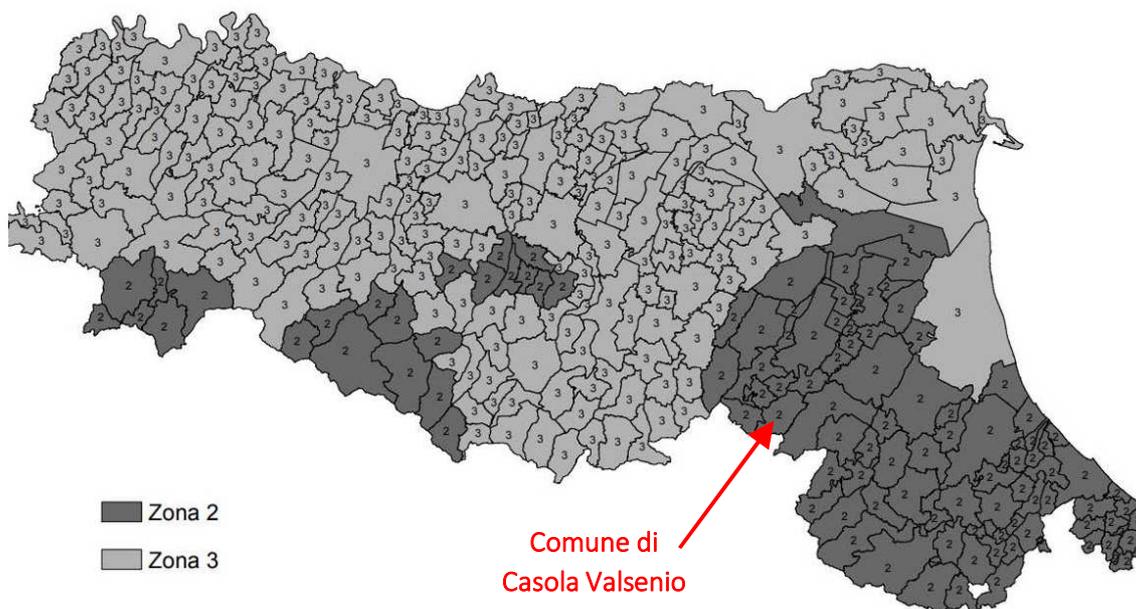


Figura 8-1: Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna (Allegato "B" alla D.G.R. n.1164/2018)

Rispetto alla classificazione sismica del comune di Casola Valsenio ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra 0.15 e 0.25 g (Tabella 8-1).

Tabella 8-1: Valori di accelerazione massima del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s,30} > 800$  m/s

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, $a_g/g$ )
1	>0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	<0.05	0.05



## ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

### Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressi in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s,30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

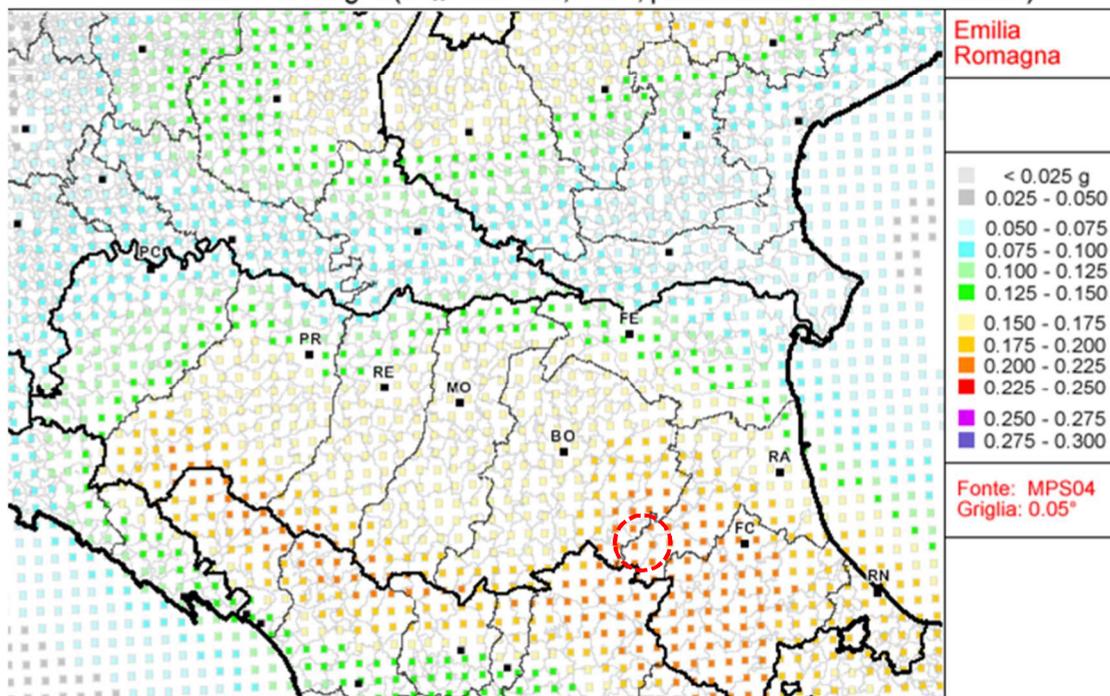


Figura 8-2: Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s,30} > 800$  m/s) – da INGV

In Tabella 8-2 vengono forniti, per il Comune di Casola Valsenio e per periodi di ritorno  $T_R$  di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_{c^*}$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati.

Nel dettaglio:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

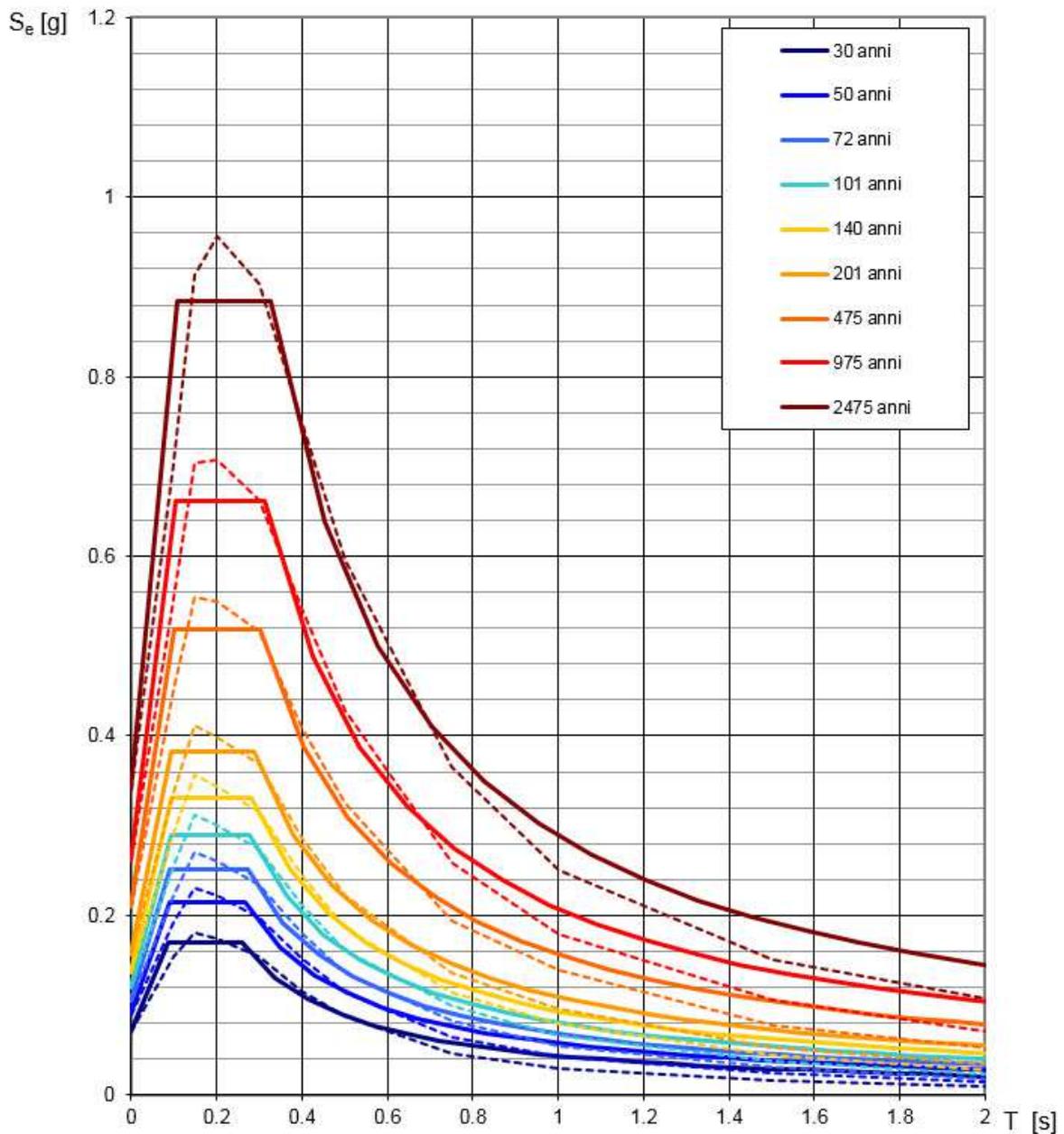
$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_{c^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tabella 8-2: Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_{c^*}$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

TR [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_{c^*}$
30	0.071	2.398	0.258
50	0.090	2.392	0.267
72	0.105	2.391	0.272
101	0.121	2.397	0.279
140	0.137	2.414	0.282
201	0.157	2.440	0.287
475	0.209	2.475	0.302
975	0.261	2.533	0.313
2475	0.339	2.602	0.327

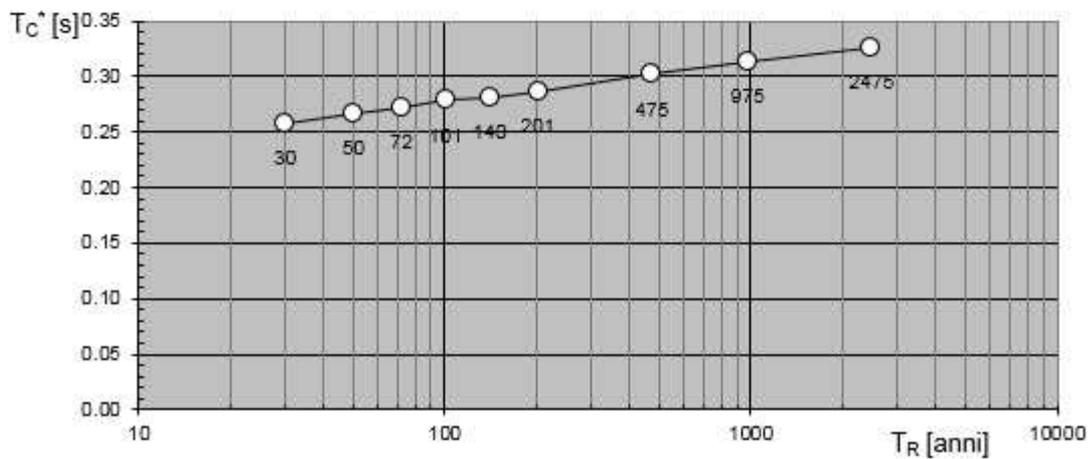
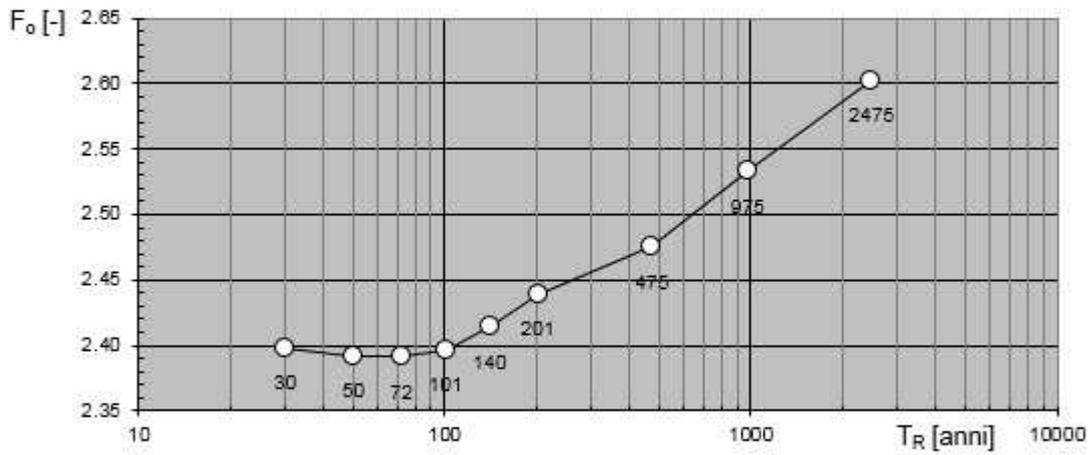
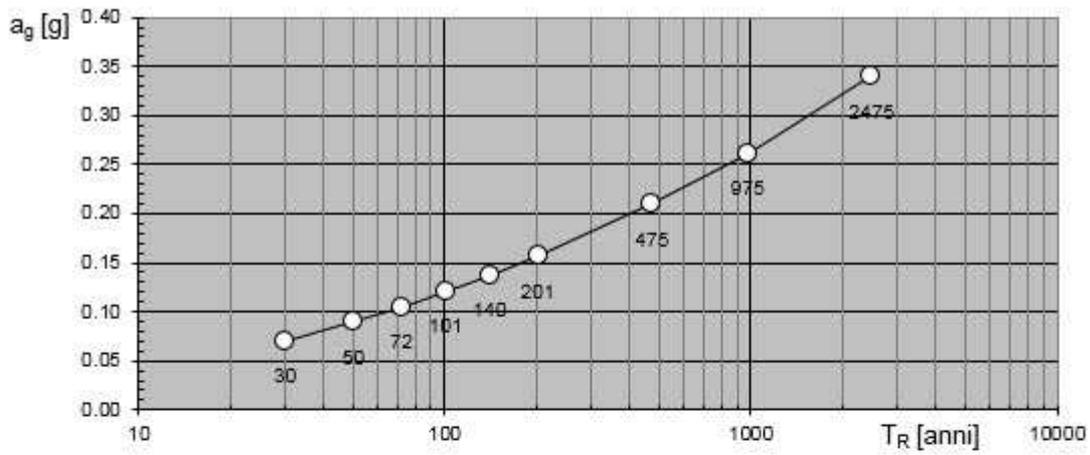
## Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$



## 9. SISMICITÀ STORICA

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Casola Valsenio.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al., 2016), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2016, consultabile on-line al sito <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).

Nella successiva Tabella 9-1 sono indicati con i seguenti simboli:

- Is = intensità in sito (MCS);
- Anno = anno Me = mese Gi = giorno Or = ora;
- NMDP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto;
- Io = intensità massima (MCS);
- Mw = magnitudo momento.

Tabella 9-1: Storia sismica del Comune di Casola Valsenio [44.223, 11.625]

Effetti Is	In occasione del terremoto di:							
	Anno	Me	Gi	Or	Area Epicentrale	NMDP	Io	Mw
7-8	1725	10	29	17 40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5.67
5-6	1874	10	07		Imolese	60	7	4.96
5	1878	03	12	21 36	Bolognese	31	6	4.84
7-8	1879	04	27	04 06	Appennino tosco-emiliano	20	7	5.03
3	1892	12	29	13 47 48.00	Castel del Rio	36	5-6	4.37
3	1895	05	18	19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5.5
NF	1897	12	18	07 24 20.00	Alta Valtiberina	132	7	5.09
NF	1898	01	16	13 10	Romagna settentrionale	110	6	4.59
NF	1898	03	09	11 43	Romagna settentrionale	68	6	4.59
NF	1899	07	08	22 56 55.00	Bagno di Romagna	37	4	4.02
5	1909	01	13	00 45	Emilia-Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	1909	08	25	00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
5	1911	02	19	07 18 30.00	Forlivese	181	7	5.26
4	1911	09	13	22 29 02.00	Chianti	115	7	5.08
4-5	1913	07	21	22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
5	1929	07	18	21 02	Mugello	56	6-7	4.96
4	1931	04	01	06 01	Faentino	12	5	4.14
4	1931	04	11	01 26	Faentino	19	4-5	4.81
4	1931	09	05	01 25 53.00	Mugello	28	6	4.88
5	1931	12	15	03 23	Mugello	35	6	4.62
3	1934	05	28	21 09	Faentino	10	4	3.94
4-5	1939	02	11	11 17	Mugello	31	7	5.01
3	1952	07	04	20 35 12.00	Appennino forlivese	64	7	4.94

Effetti Is	In occasione del terremoto di:				
	Anno Me Gi Or	Area Epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4.7
3	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4.74
2	1956 05 26 18 40	Appennino forlivese	76	7	4.99
2	1956 06 03 01 45 57.00	Appennino forlivese	62	6	4.51
4	1960 04 30 00 52 06.00	Appennino forlivese	16	5	4.28
3	1960 10 29 00 08 39.00	Mugello	69	7	4.91
2	1969 01 10 16 17 32.00	Pianura Ravennate	22	5	4.38
2-3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04
3	1991 01 14 07 38 36.65	Casentino	62	5	4.26
NF	1995 08 24 17 27 33.00	Appennino pistoiese	56	6	4.45
4-5	1996 03 14 01 56 37.25	Appennino tosco-romagnolo	20	4-5	3.56
4-5	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4.36
5	2000 05 06 22 07 03.78	Faentino	85	5	4.08
4-5	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4.67
4-5	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2002 11 02 10 57 44.89	Ferrarese	79	4	4.21
4-5	2003 01 26 19 57 03.21	Appennino forlivese	35	6	4.66
3-4	2003 01 29 23 50 16.38	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
5	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5.24
3-4	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4.18
3	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29

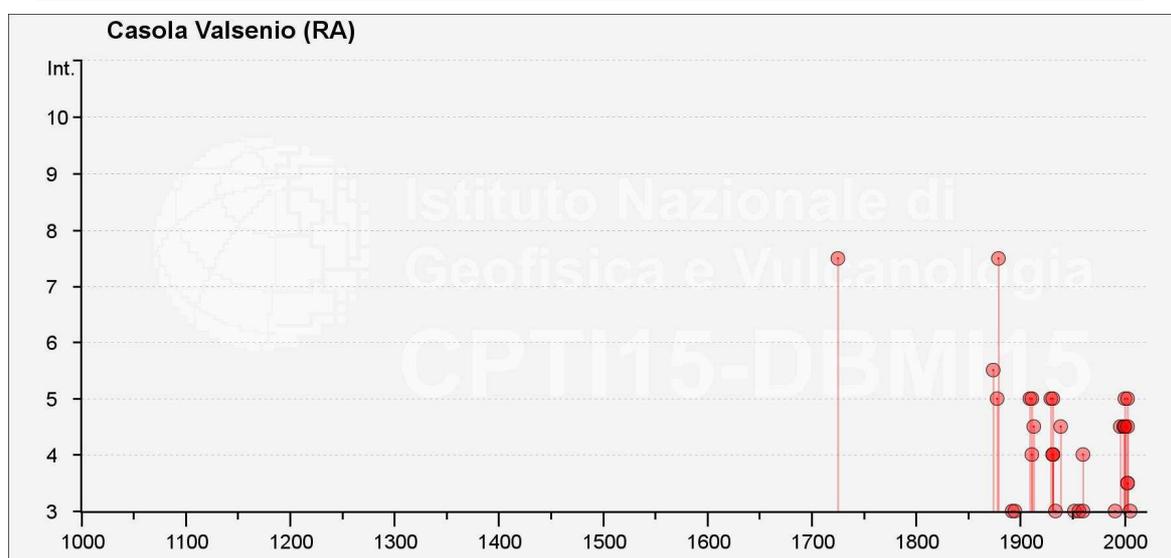


Figura 9-1: Storia sismica del Comune di Casola Valsenio [44.223, 11.625]

## 10. SORGENTI SISMOGENETICHE

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.2.1) del database “A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas”, inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise & Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Obiettivo del Database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale; per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database, nell'intorno del territorio di Casola Valsenio sono presenti le seguenti sorgenti sismogenetiche composite (Figura 10-1); la sorgente Castel San Pietro Terme-Meldola (ITCS001), la sorgente Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027) e la sorgente Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme (ITCS047). Le principali informazioni di riferimento per ciascuna sorgente sono riportate da Figura 10-2 a Figura 10-4.

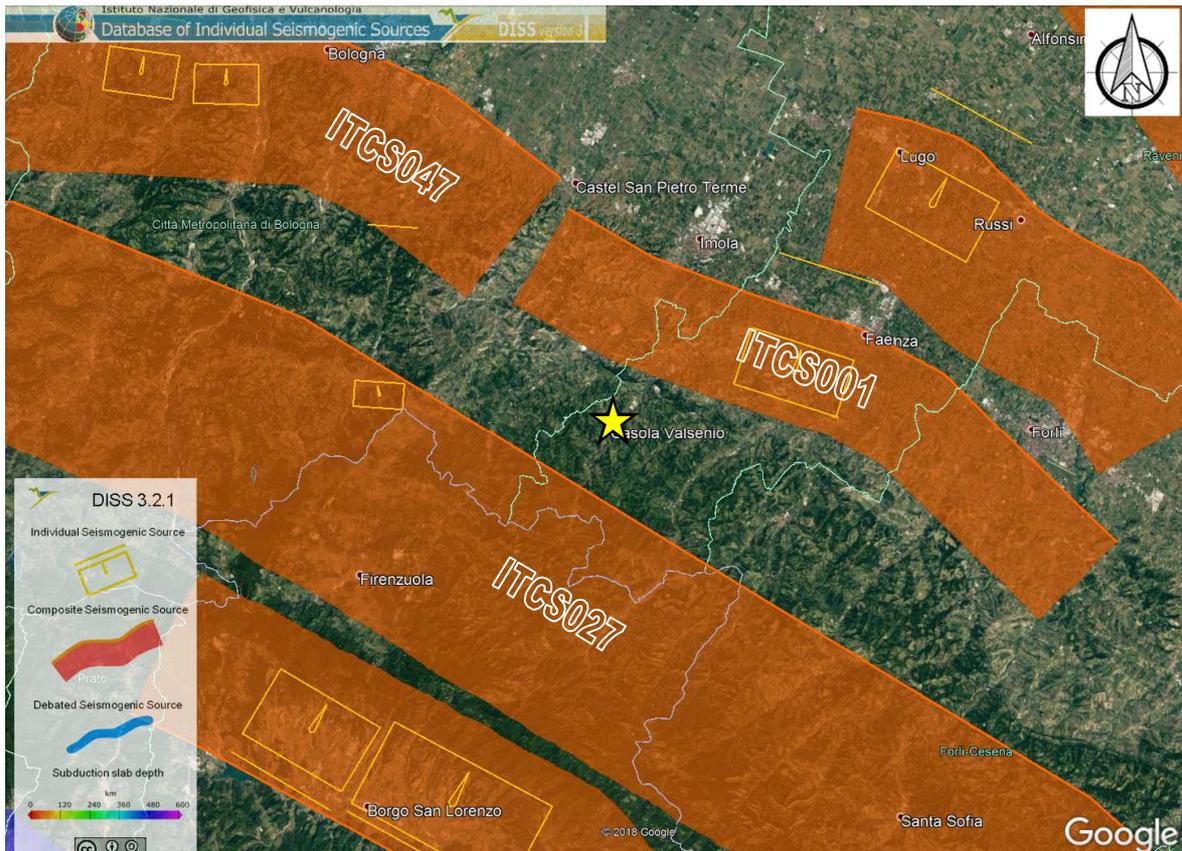


Figura 10-1: Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy” per l’area in oggetto. Il simbolo giallo indica l’area di studio

#### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	110... 140	LD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	30...40	LD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80... 100	LD	Based on geological data from various authors.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24... 0.63	EJ	Inferred from geological data on adjacent structures.
Max Magnitude [Mw]	5.8	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 10-2: Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta Castel San Pietro Terme-Meldola (ITCS001)

### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min... max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 10-3: Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027)

### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	85...135	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Inferred from geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013)
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Inferred from geological data and analysis of regional seismicity.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 10-4: Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme (ITCS047)

## 11. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & Valensise, 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento Mw.

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti.

Il territorio in oggetto ricade all'interno della zona sismogenetica 914 "Forlivese", caratterizzata da Mw=6.14 (Figura 11-1 e Figura 11-2).

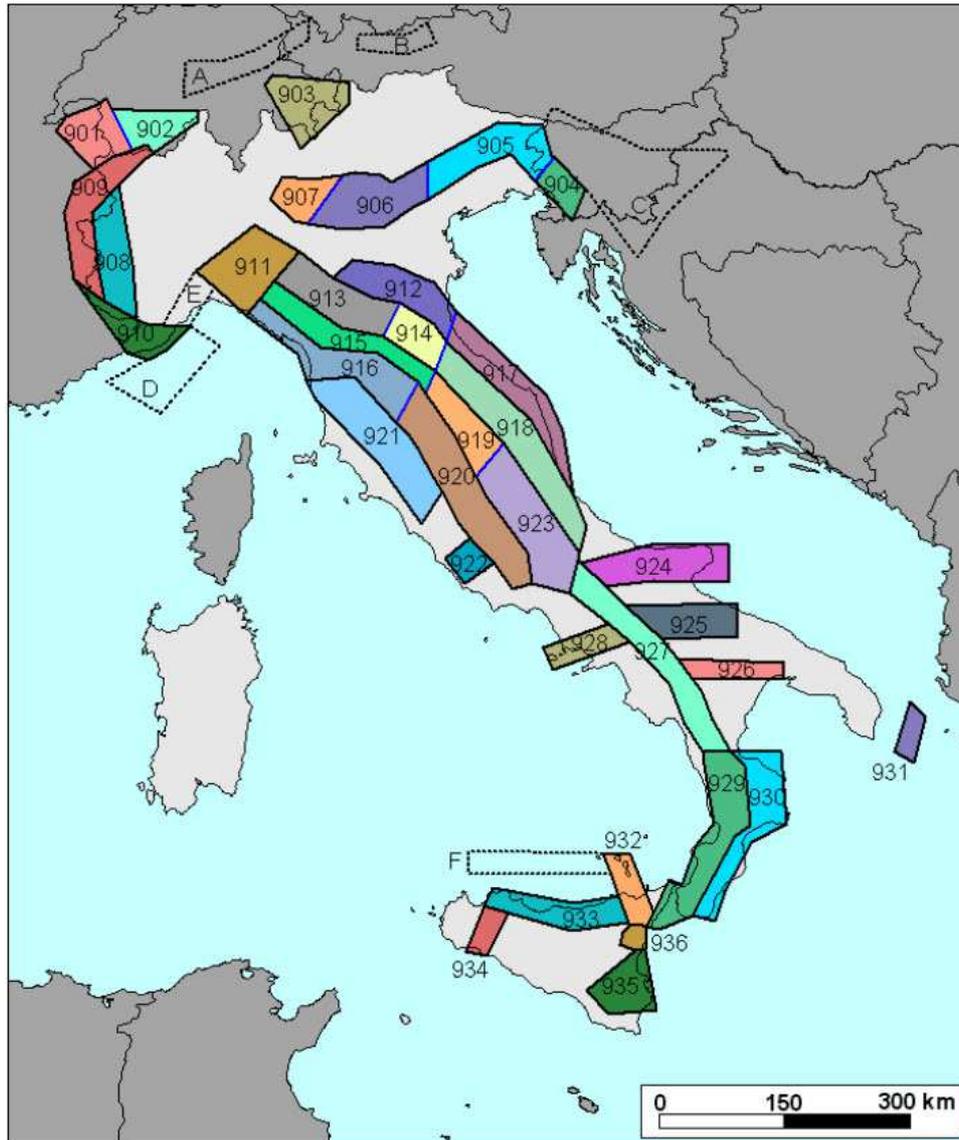


Figura 11-1: Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 11-2: Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9

## 12. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

### 12.1. PREMESSA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell’area della costruzione. Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_{C^*}$ : valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_{C^*}$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

### 12.2. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall’espressione:

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

con:

- $h_i$ : spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- $N$ : numero di strati;

- H: profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

**Tab. 3.2.II** – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Le due prove Masw effettuate hanno restituito valori di  $V_{s,30}$  rispettivamente di 304 e 326 m/s, è pertanto possibile classificare i terreni in sito come suolo di tipo "C".

### 12.3. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

**Tab. 3.2.III** – Categorie topografiche

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 $i > 30^\circ$

L'area in oggetto può essere classificata in categoria **T1**, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1,0$ .

## 12.4. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Prendendo in considerazione l'area in oggetto di studio, individuabile all'incirca alle coordinate ED50 Lat = 44,226° e Long = 11,626°, nel seguito si riportano i parametri dell'azione sismica di riferimento in relazione allo Stato limite di Salvaguardi della vita (SLV).

In particolare, per il campo da gioco a 11 e le opere ad esso pertinente (gabbioni e terre armate):

Vita nominale, $V_N$	50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso, $C_u$	1.5
Periodo di riferimento, $V_R$	75 anni

### **Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)**

Accelerazione massima (sito A)	0.237g
Coefficiente di suolo $S_s$	1.343
Coefficiente topografico $St$	1.000
Accelerazione massima attesa al sito	<b>0.319g</b>
Fattore $F_0$	2.507
Periodo $T_c^*$	0.308 s

Mentre, per le strutture (locale spogliatoi):

Vita nominale, $V_N$	50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso, $C_u$	1.0
Periodo di riferimento, $V_R$	50 anni

### **Stato limite di danno (SLD)**

Accelerazione massima (sito A)	0.090g
Coefficiente di suolo $S_s$	1.500
Coefficiente topografico $St$	1.000
Accelerazione massima attesa al sito	<b>0.135g</b>
Fattore $F_0$	2.392
Periodo $T_c^*$	0.267

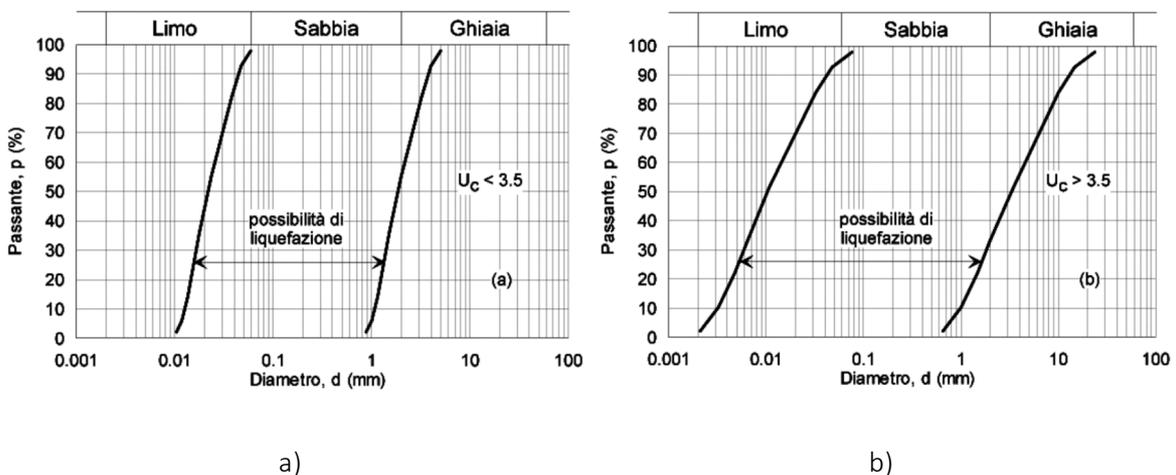
### **Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)**

Accelerazione massima (sito A)	0.209g
Coefficiente di suolo $S_s$	1.389
Coefficiente topografico $St$	1.000
Accelerazione massima attesa al sito	<b>0.291g</b>
Fattore $F_0$	2.475
Periodo $T_c^*$	0.302 s

### 13. SUSCETTIBILITÀ AI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni. In base ad D.M. 17/01/2018, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanza:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite, con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche statiche (CPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



Nel caso in esame, le verifiche di liquefazione possono essere omesse; infatti, come riportato nella Relazione geologica (Rif. [1]):

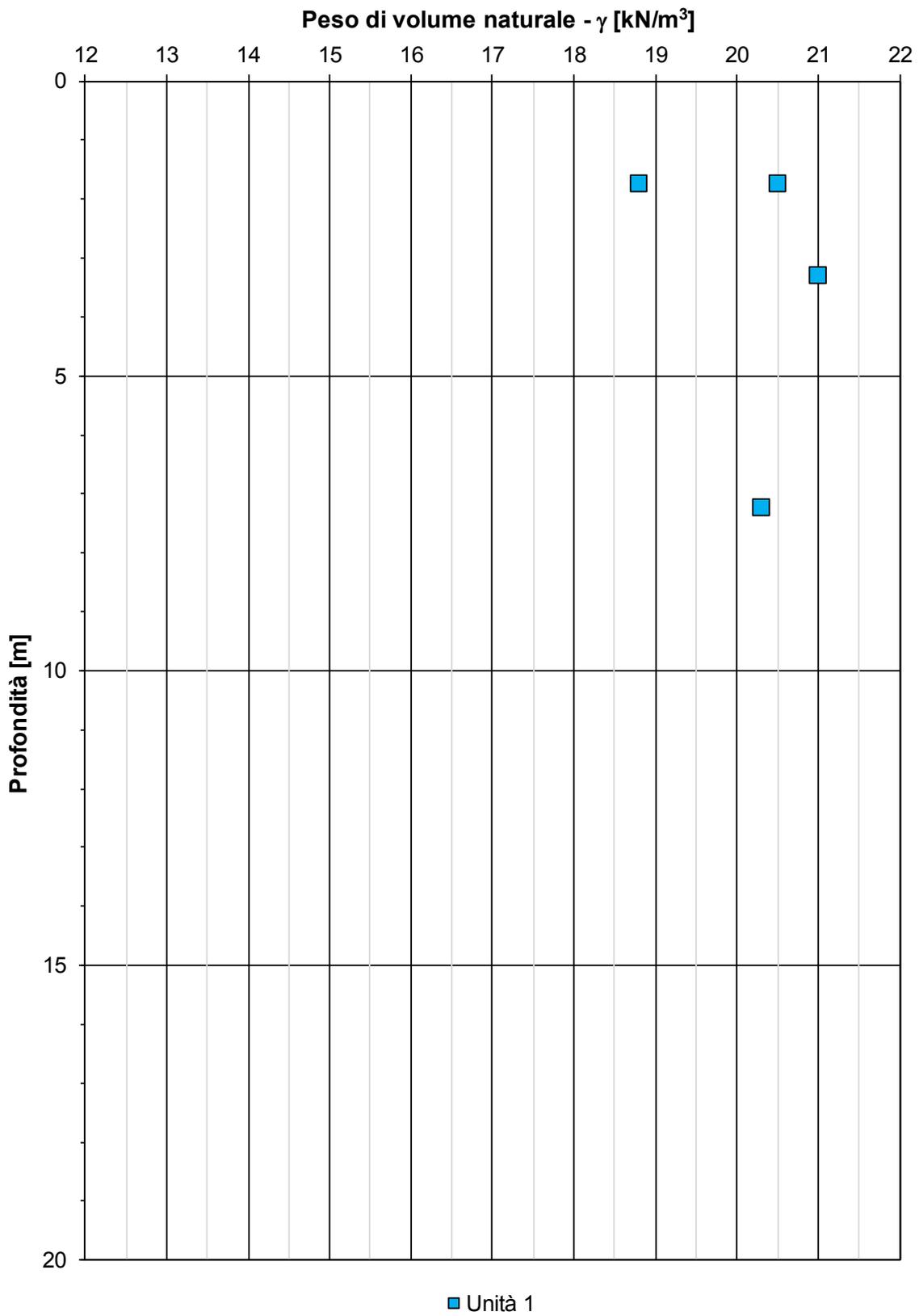
*Gli studi di microzonazione sismica di secondo livello eseguiti per il Comune di Casola Valsenio, collocano il sito in esame in una macrozona omogenea in cui è esclusa la liquefacibilità dei terreni. Sulla base delle misurazioni eseguite, è possibile stimare che il livello di falda stazioni pressoché costantemente all'interno delle alluvioni grossolane ghiaioso-sabbiose poggianti sul substrato roccioso marnoso-arenaceo, senza interessare i litotipi limoso-sabbiosi soprastanti, che, tuttalpiù,*

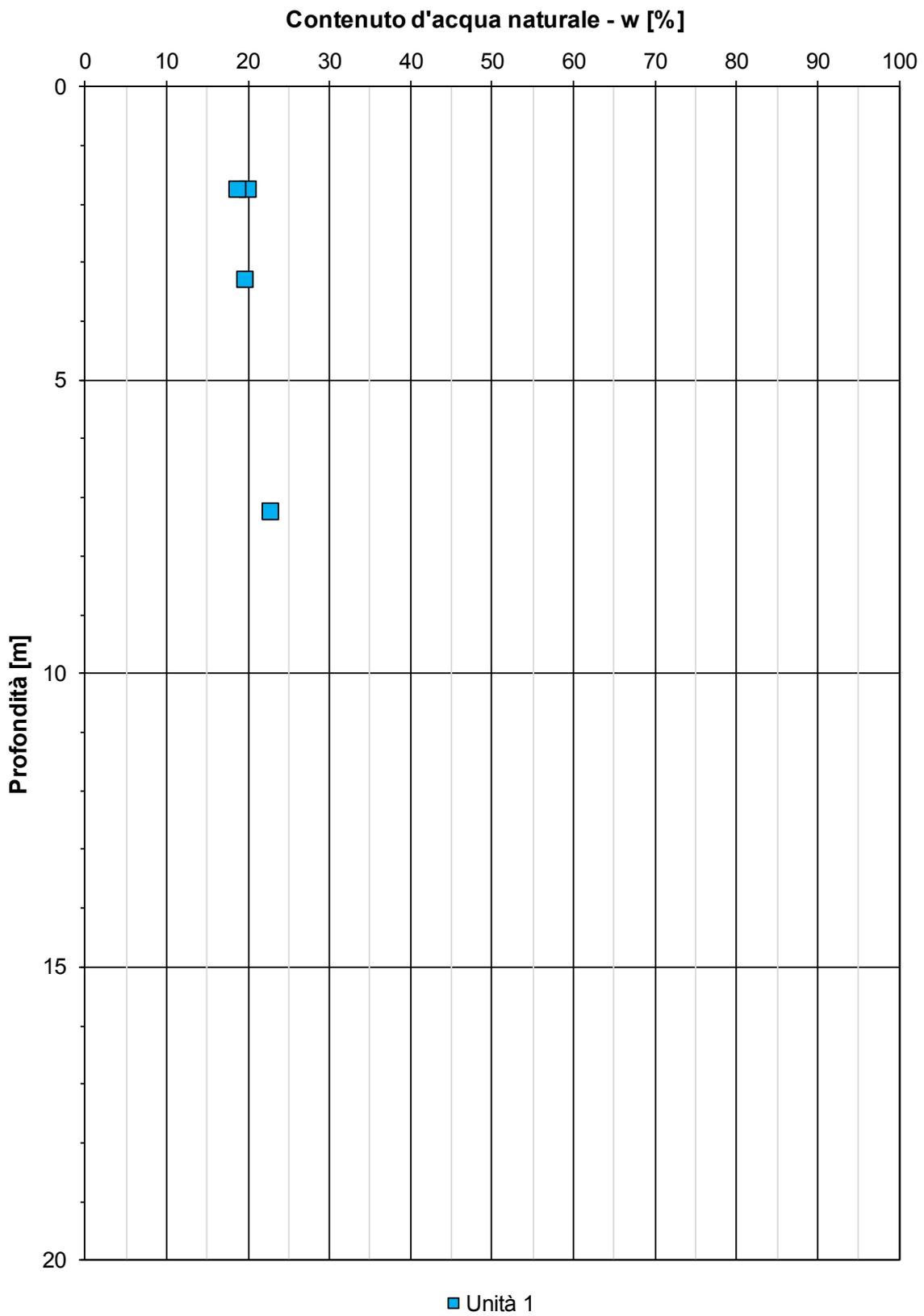
---

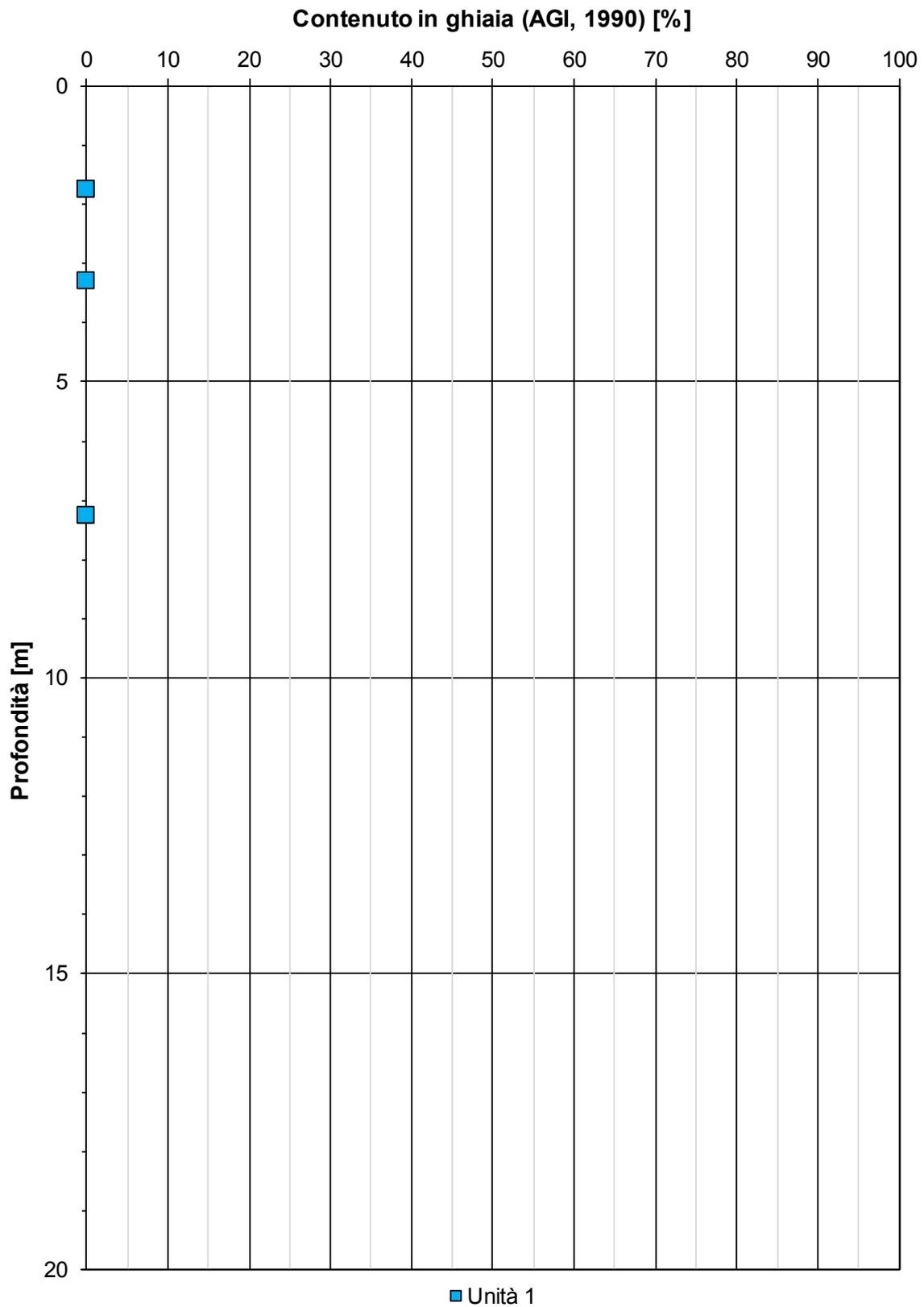
*potranno essere interessati da una sporadica circolazione verticale per infiltrazione, drenata dalle ghiaie- sabbie sottostanti.*

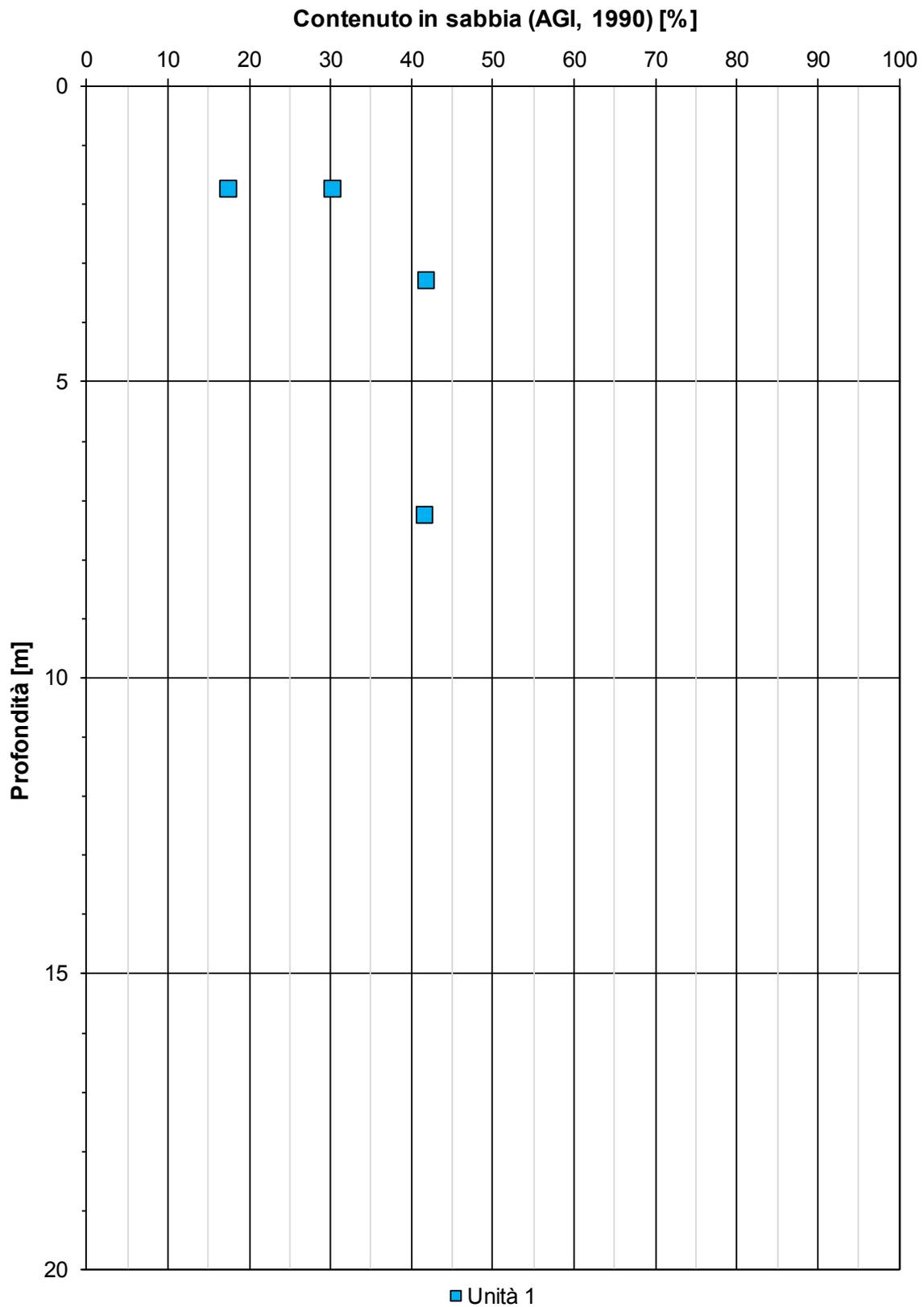
## APPENDICE 1

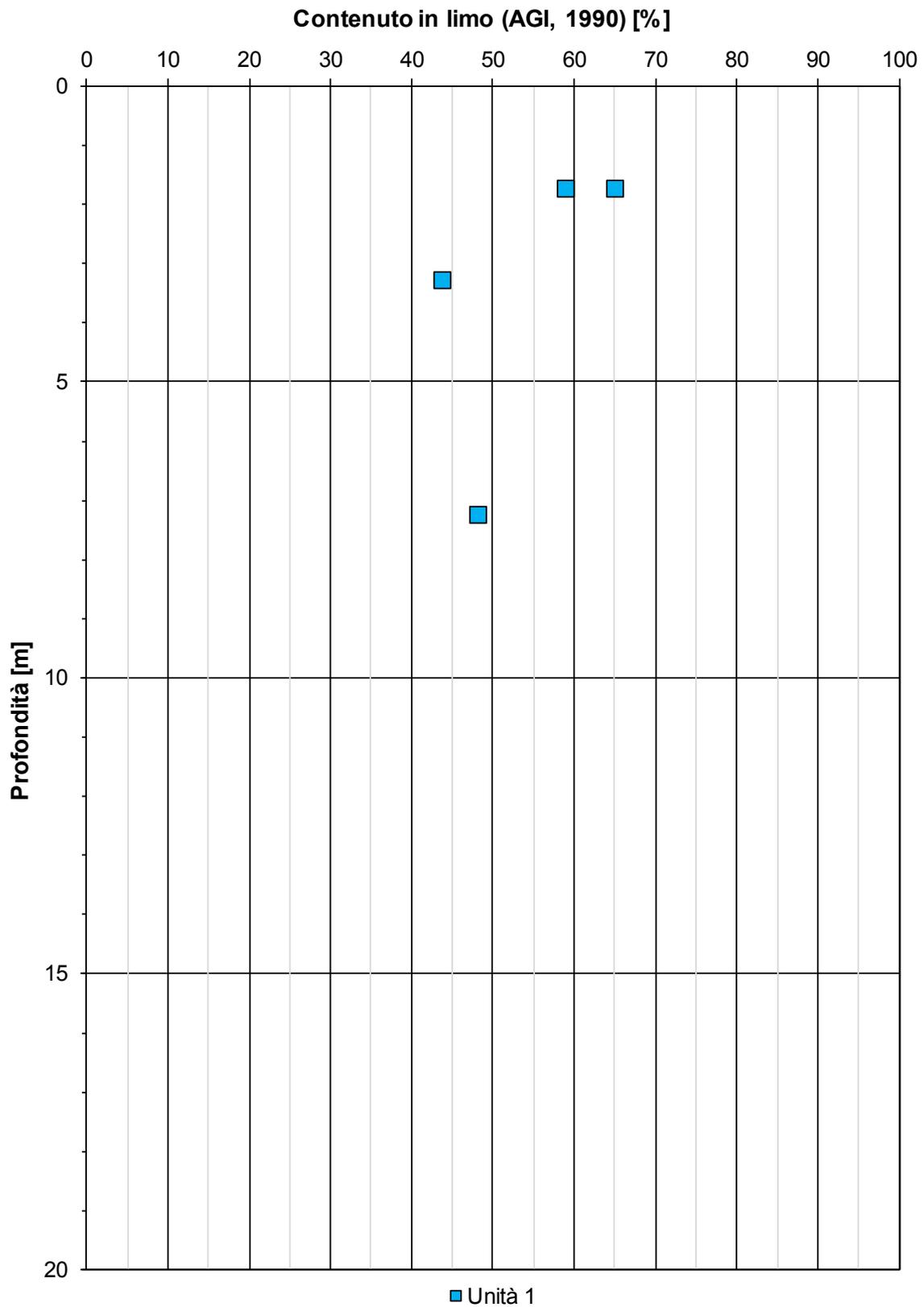
### GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

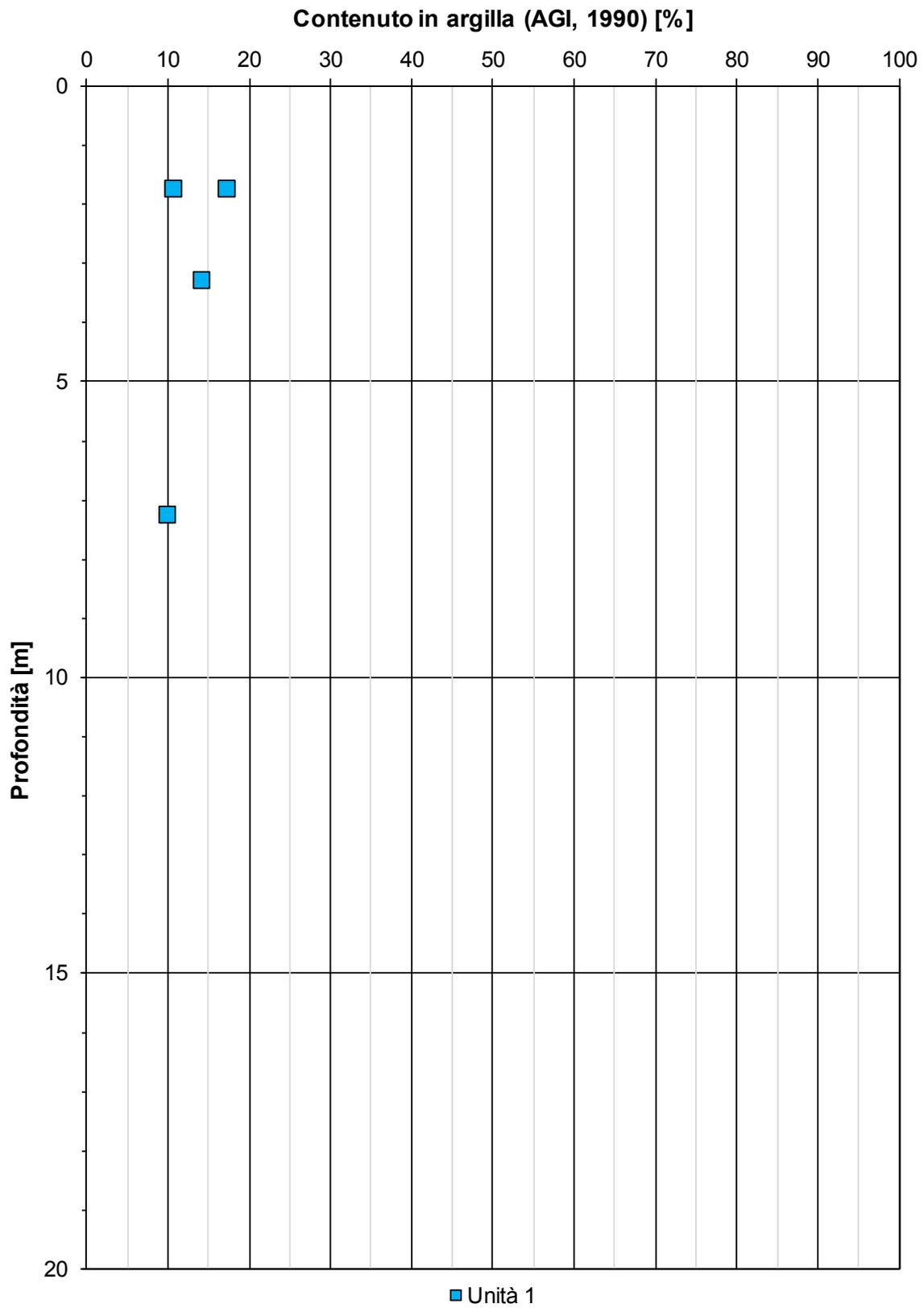


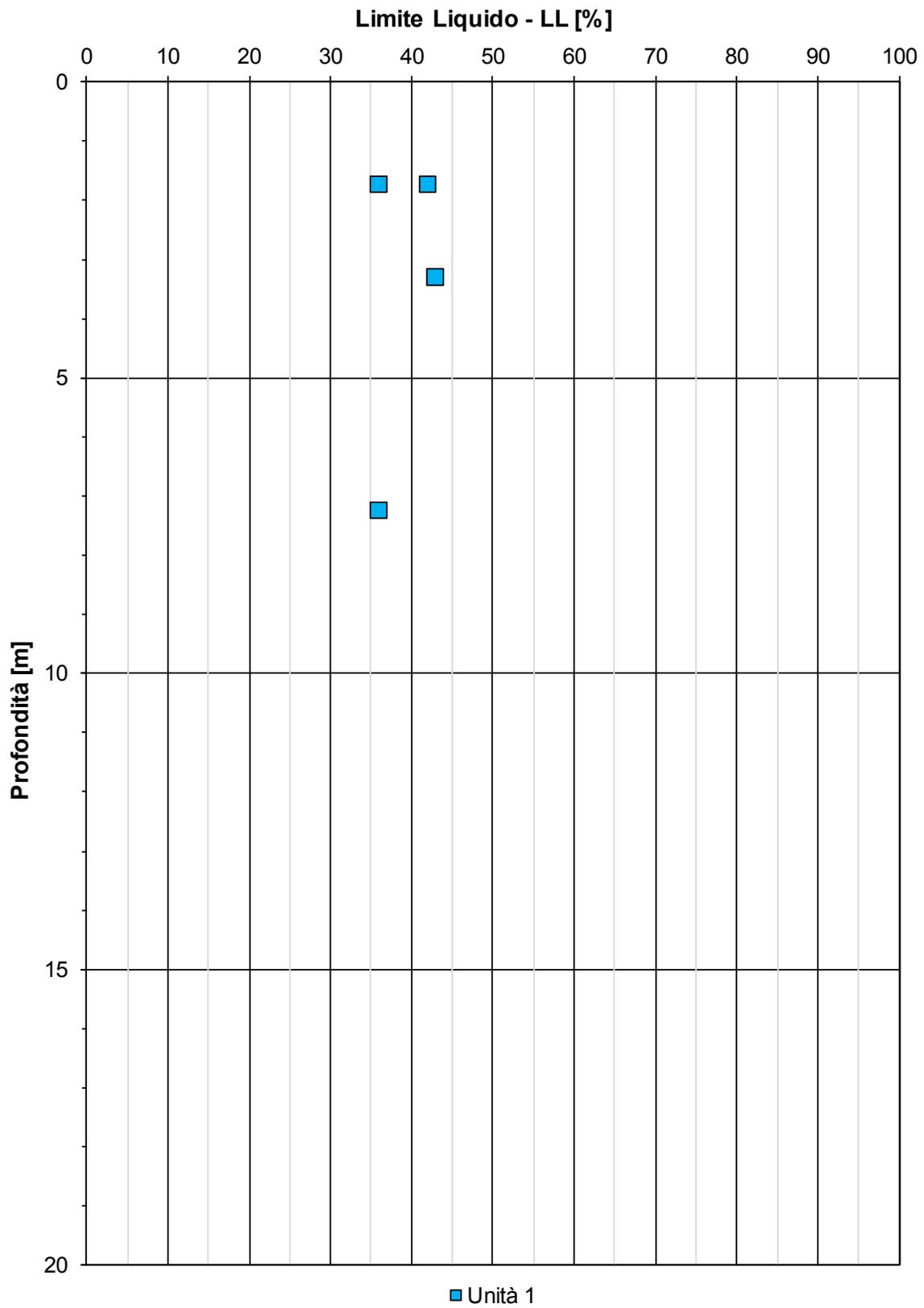


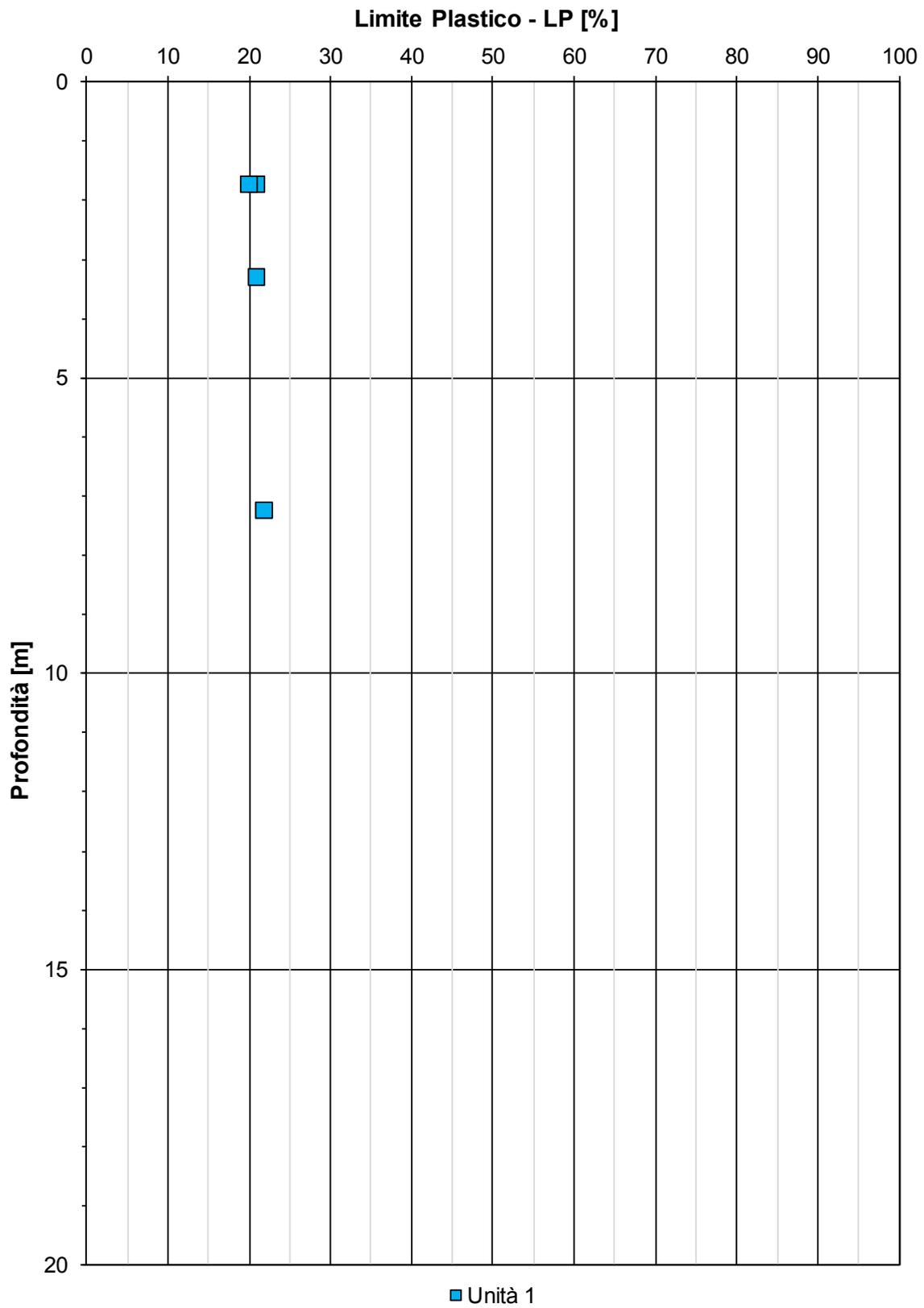


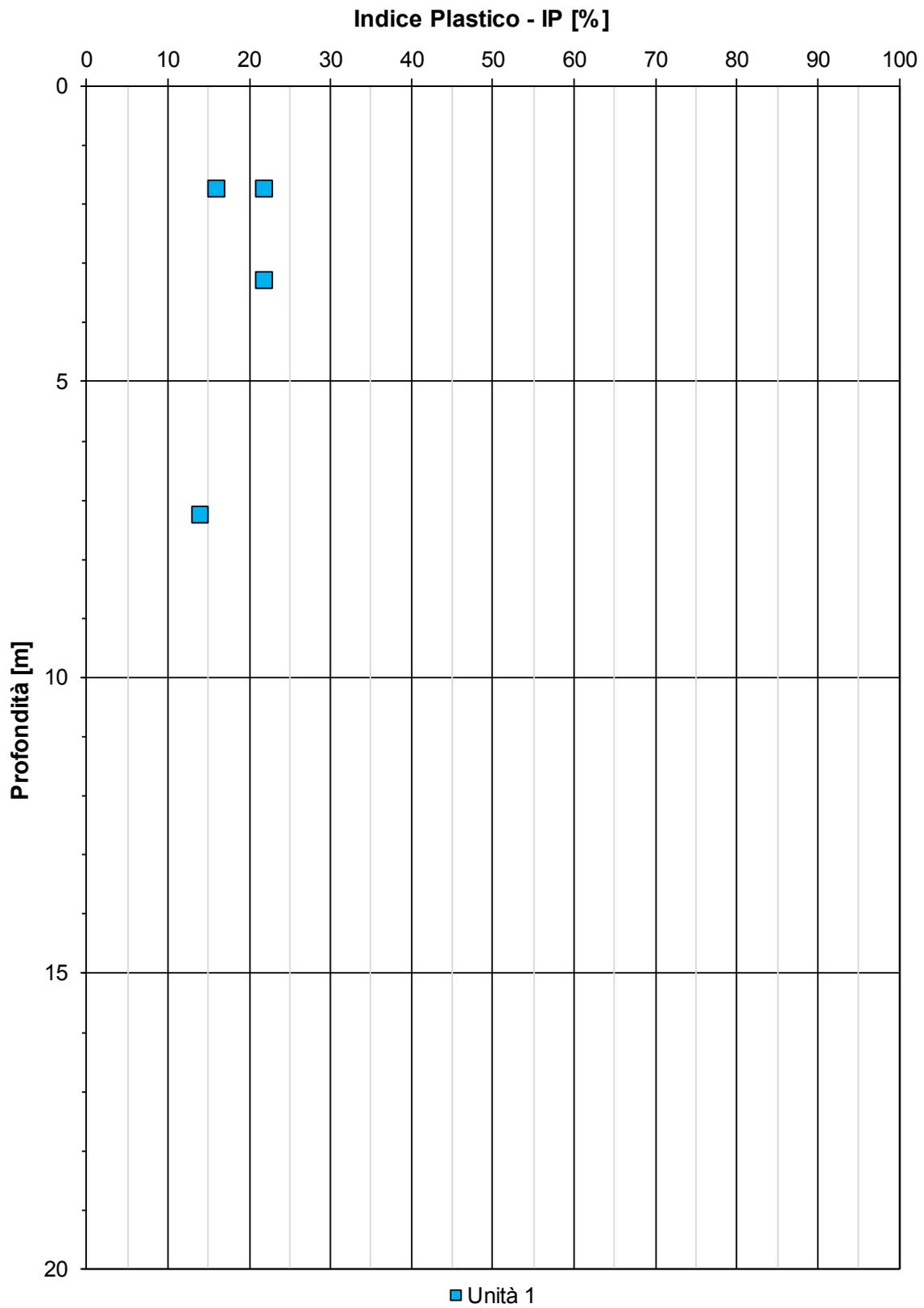


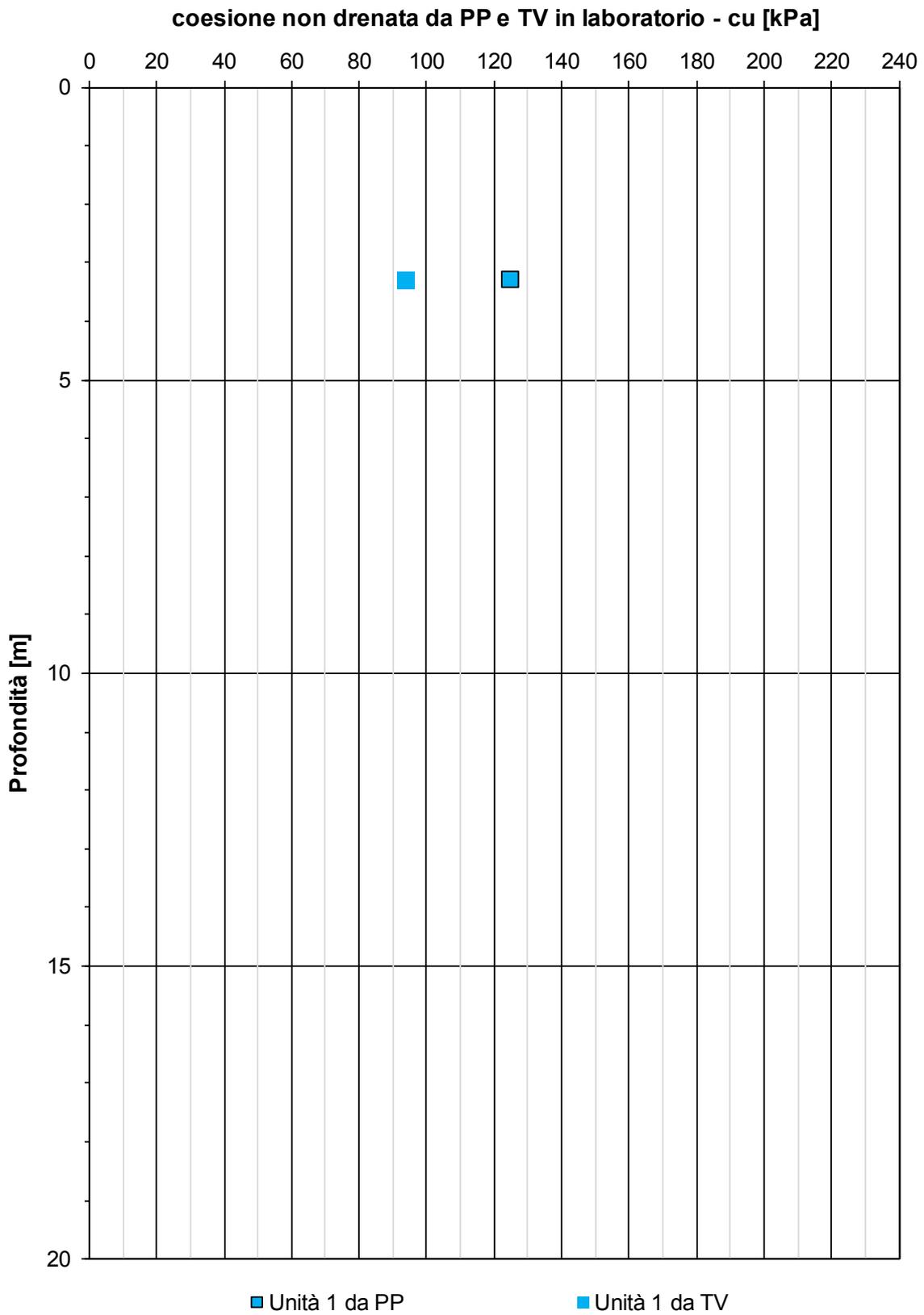


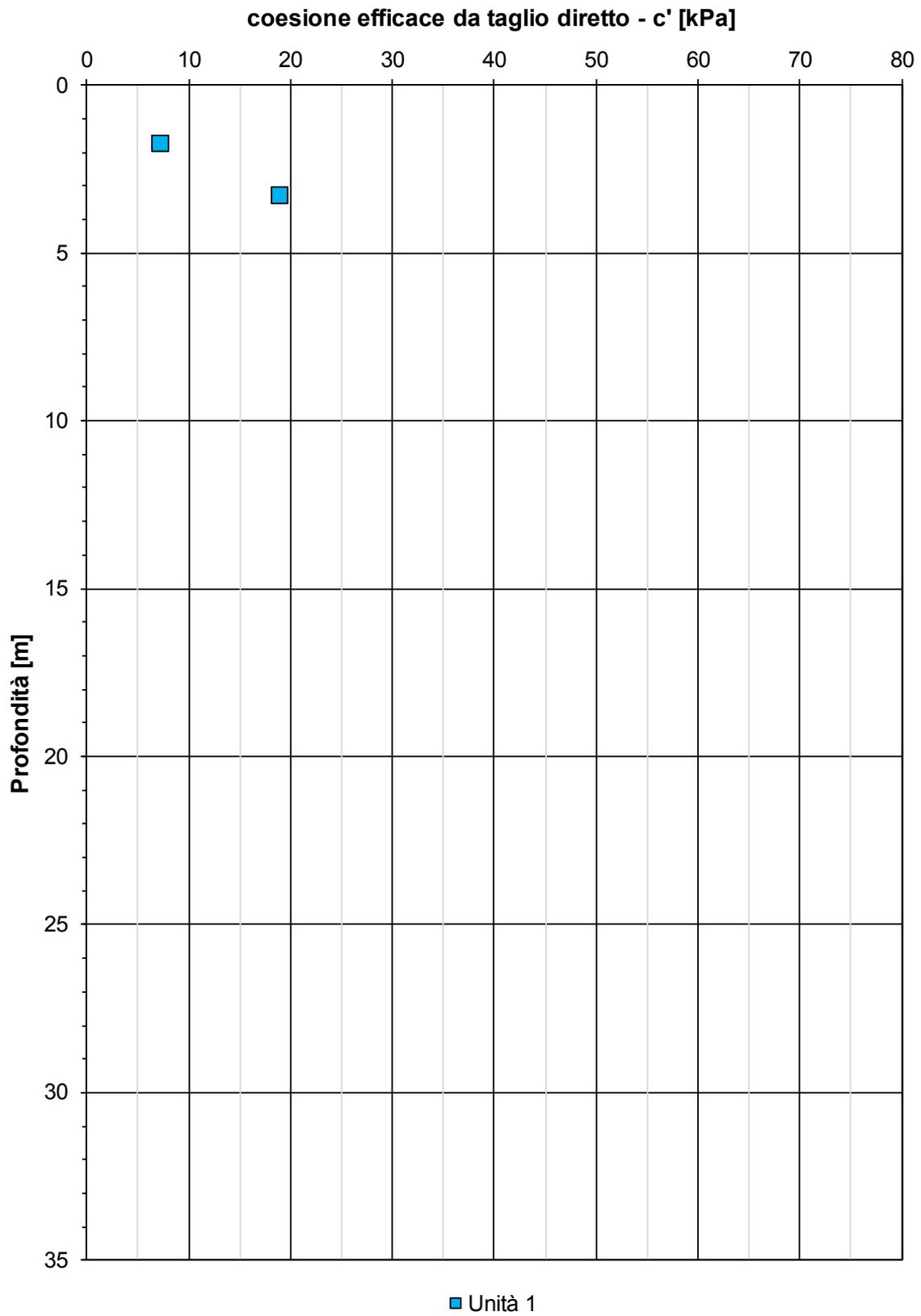


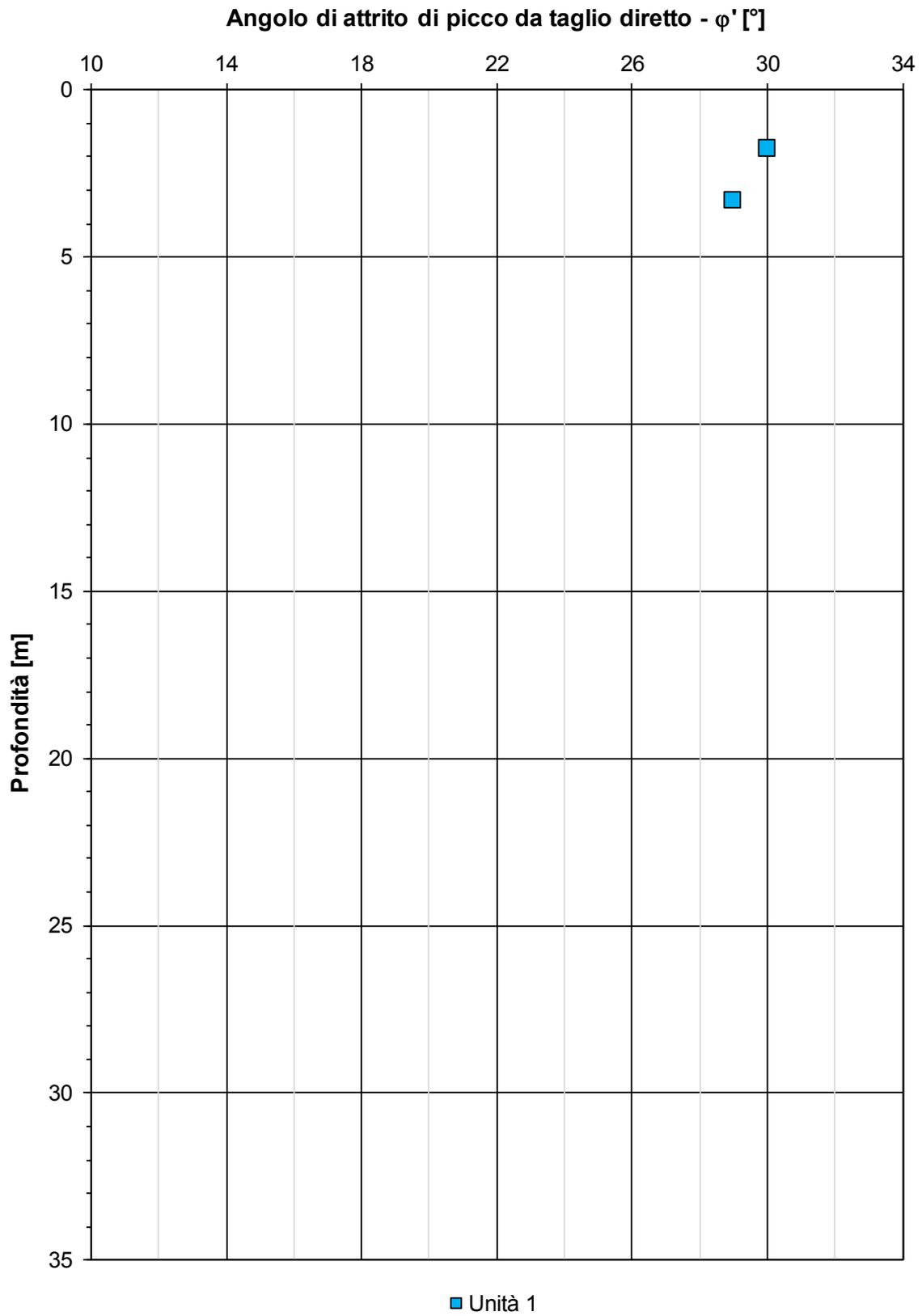








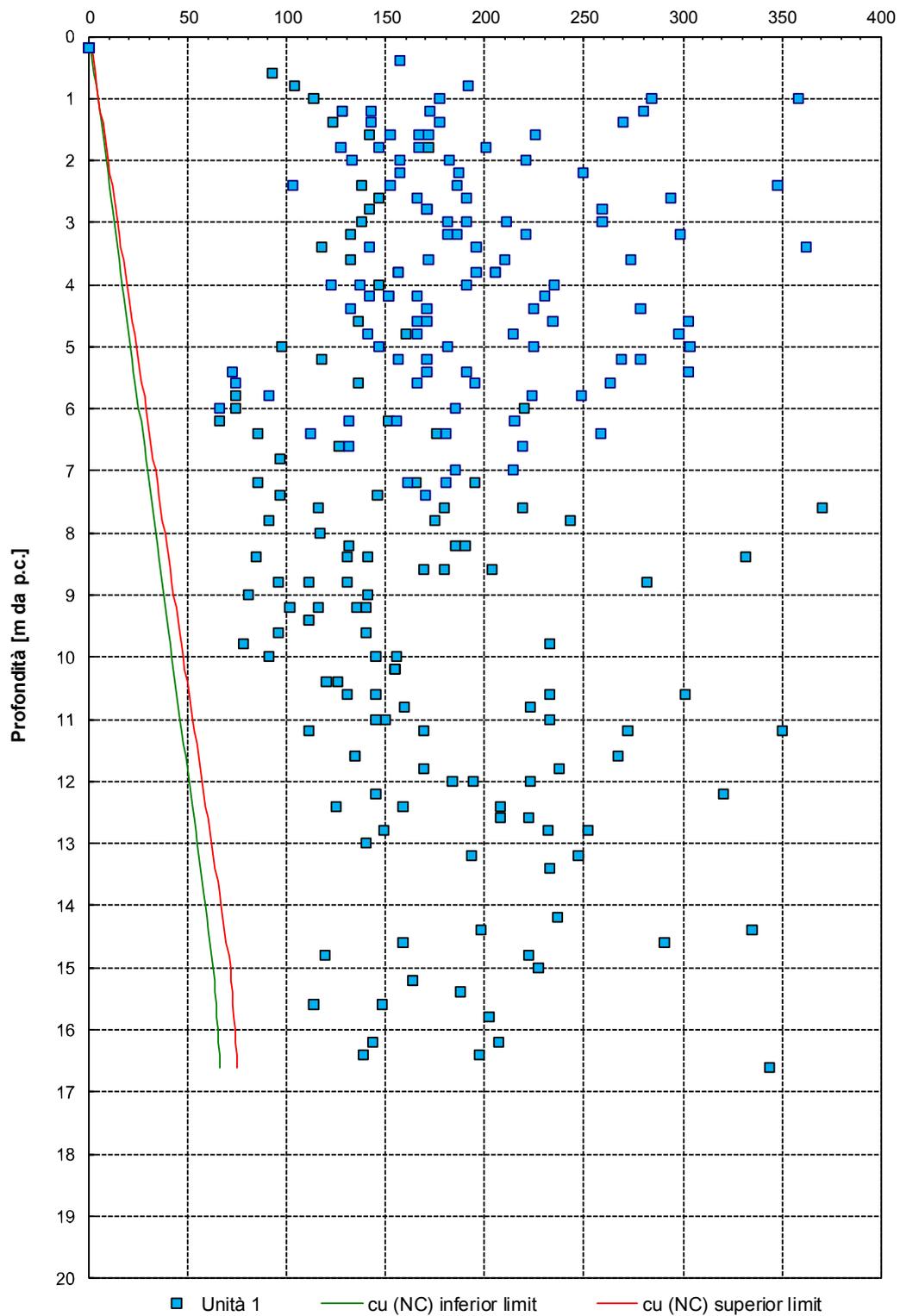




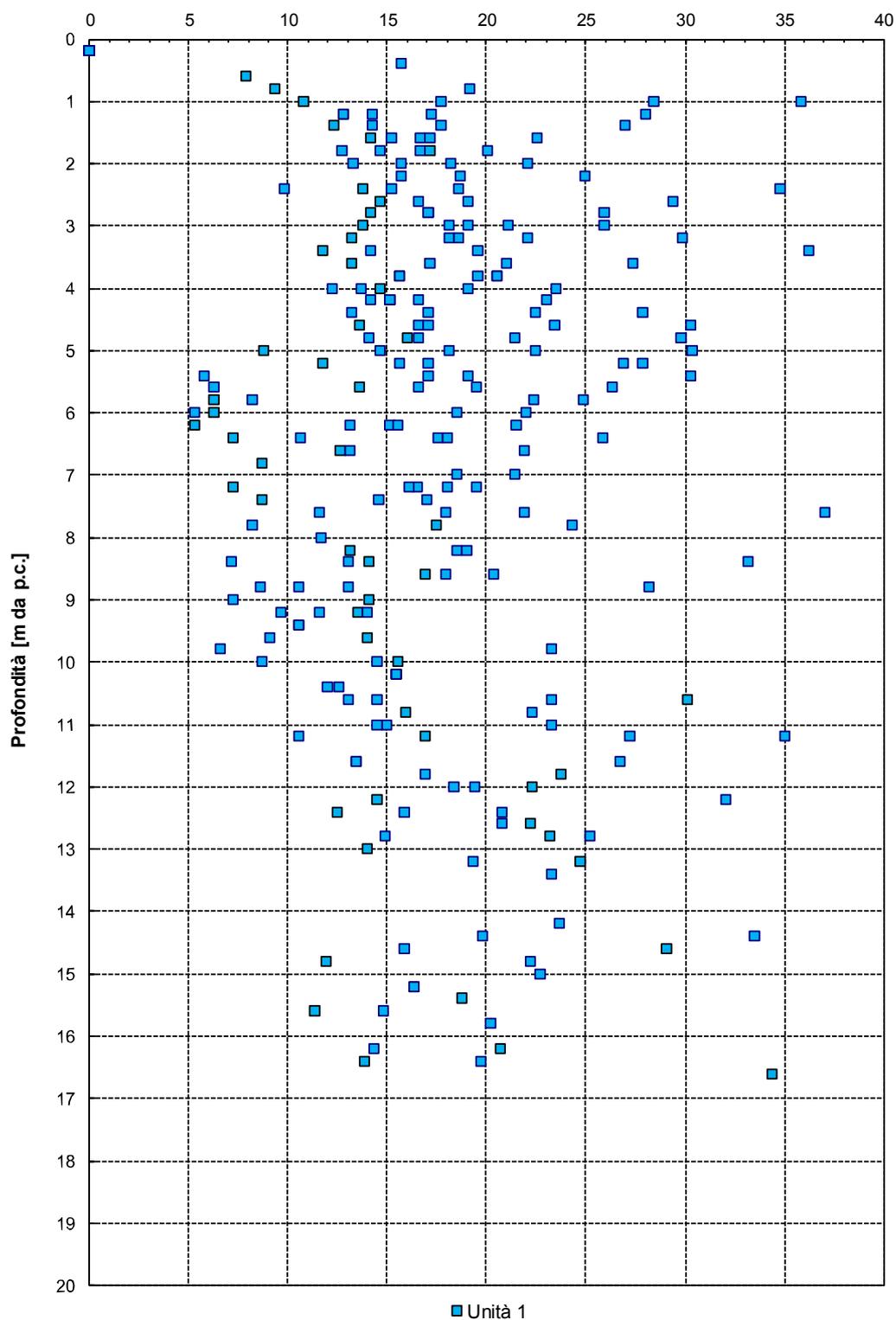
## APPENDICE 2

### GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE CORRELAZIONI DA PROVE CPT

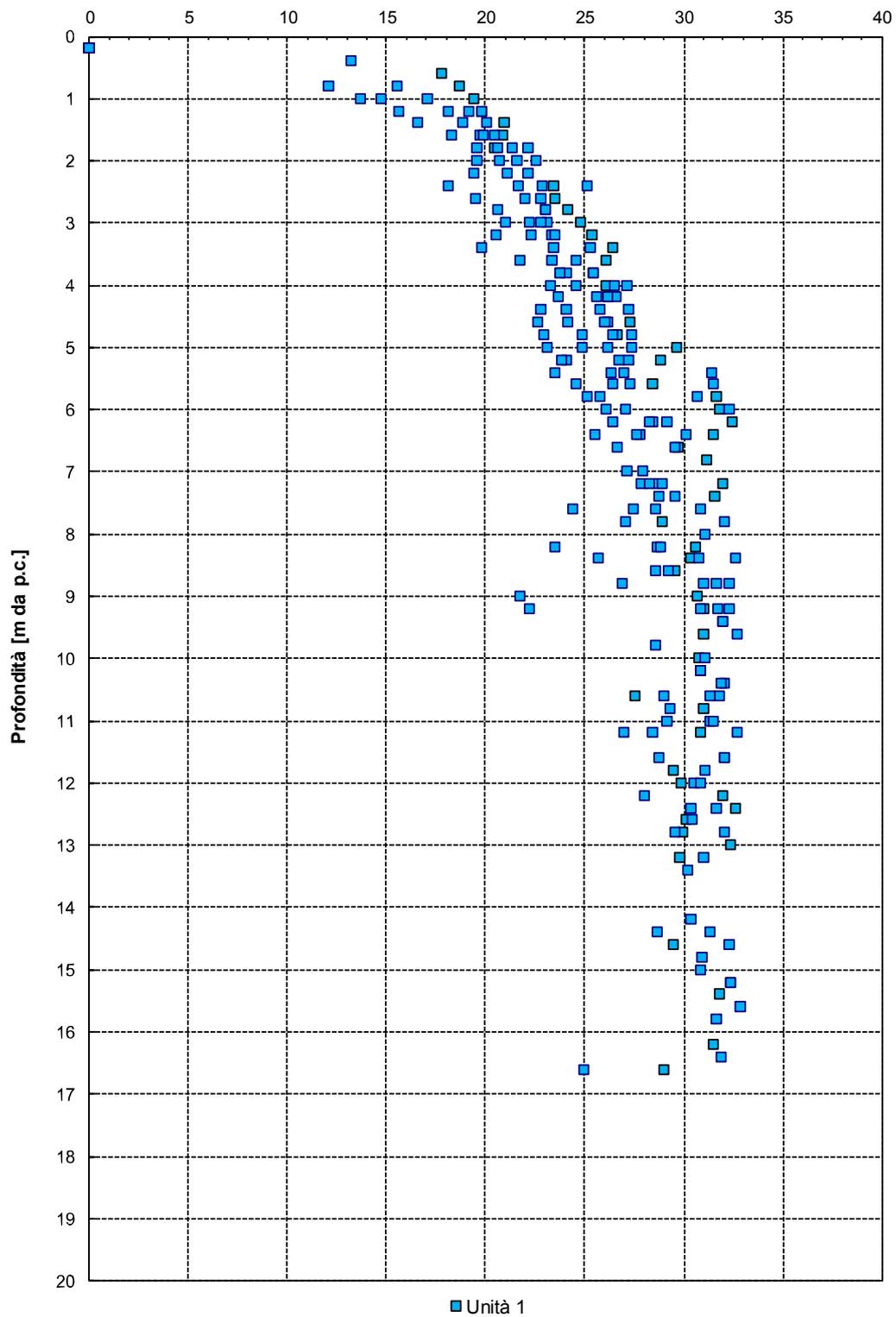
**Terreni coesivi - Coesione non drenata,  $c_u$  [kPa]**



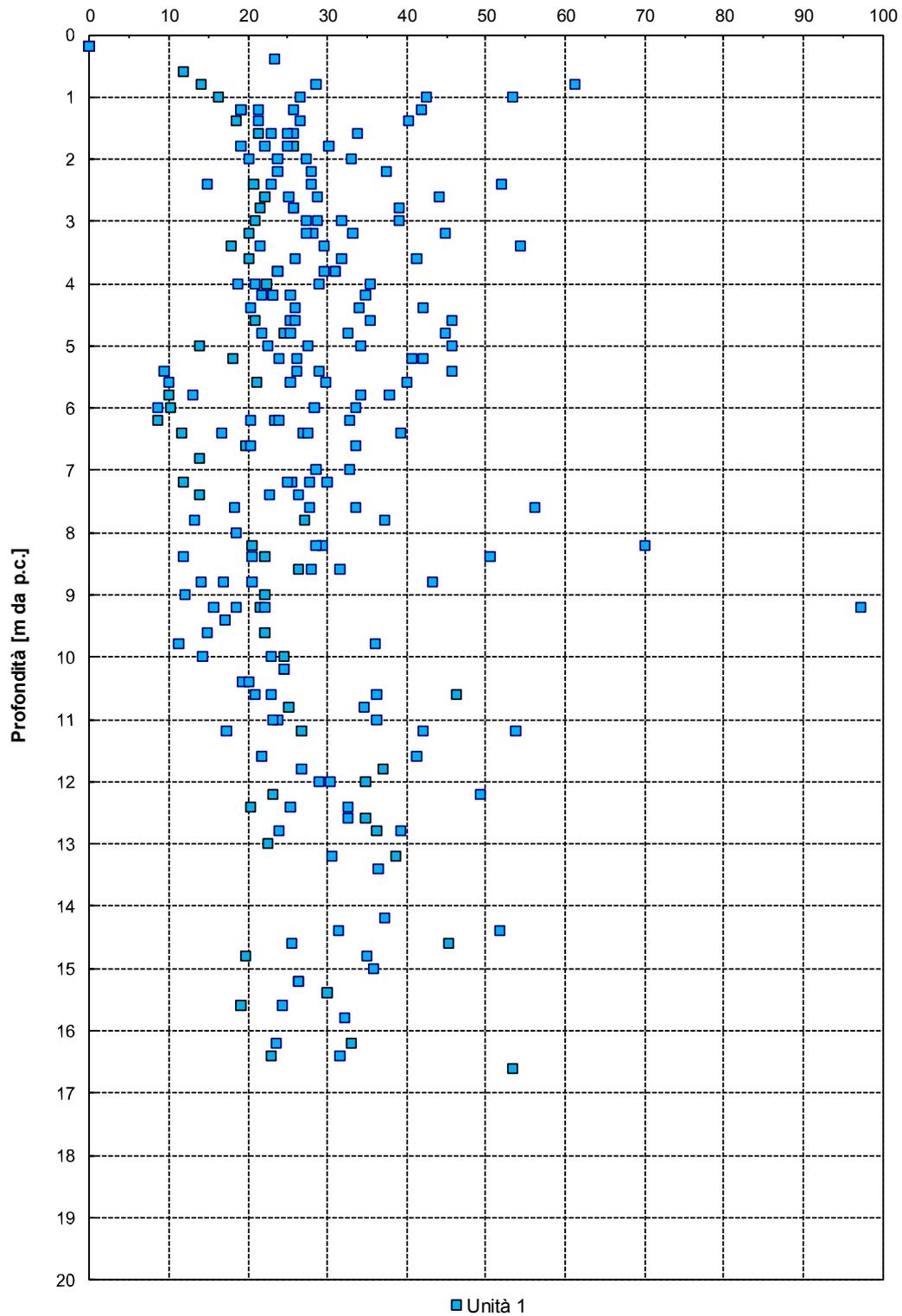
**Terreni coesivi - coesione drenata,  $c'$  [kPa]**



Terreni coesivi - angolo di attrito interno di picco,  $\phi'$  [°]



Terreni coesivi - Modulo di deformazione drenato,  $E'$  [MPa]



## APPENDICE 3

GRAFICI RIASSUNTIVI DELLE CORRELAZIONI DA PROVE SPT IN FORO

