

OCDPC 232/2015

Piano dei primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza delle eccezionali avversità atmosferiche che hanno colpito il territorio delle Regione Emilia-Romagna nei giorni 4-7 febbraio 2015

11763 - COMUNE DI CESENA (FC) - LOCALITÀ MONTEVECCHIO
INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA

Importo complessivo € 210.000,00

CUP E17B15000200003

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Elaborato n.2

PROGETTISTI:

Geol. Andrea Benini

Geol. Andrea Foschi

IL RESPONSABILE DEL SERVIZIO
E DEL PROCEDIMENTO

Ing. Mauro Vannoni
documento firmato digitalmente

COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE:

Rag. Francesco Paolo Aprea

Rag. Stefano Casadei

INDICE

1. Inquadramento	pag. 3
2. Studi precedenti	pag. 3
3. Stratigrafia	pag. 4
4. Problemi di dissesto idrogeologico ed interventi eseguiti	pag. 5
5. Finalità	pag. 6
6. Cenni di tettonica	pag. 6
7. Stato di fatto	pag. 7
8. Aspetti sismici dell'area	pag. 8
9. Stratigrafia di progetto	pag. 9
10. Idrogeologia ed interferenze col sistema idrogeologico	pag. 10
11. Orientamenti geotecnici	pag. 11
12. Conclusioni	pag. 12

ALLEGATI

1. Carta corografica in scala 1:25.000	pag. 14
2. Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:5.000	pag. 15
3. Sezioni geologiche	pag. 16
4. CPT1 GeoNet	pag. 17
5. Parametri geotecnici CPT1 Geonet	pag. 18
6. CPT2 GeoNet	pag. 19
7. Parametri geotecnici CPT2	pag. 20
8. HVSR1	pag. 21
9. HVSR2	pag. 22
10. DIN1	pag. 23
11. DIN2	pag. 24
12. DIN3	pag. 25
13. DIN4bis	pag. 26
14. DIN5	pag. 27
15. DIN6	pag. 28
16. DIN7	pag. 29
17. Maglie dei vertici reticolo sismico ed ubicazione sito Geostru	pag. 30
18. Foto	pag. 31
19. Foto	pag. 32
20. Foto	pag. 33
21. Foto	pag. 34
22. Relazione di calcolo	(ALLEGATO)

1) INQUADRAMENTO

L'area oggetto di questo studio ricade nella seguente Cartografia Tecnica della Regione Emilia-Romagna:

1. Tavola n. 255 SE "Borello";
2. Sezioni CTR n. 255110 "Borello" e 255150 "Bora";
3. Elementi CTR n. 255113 "Borello" e 255154 "Bora".

L'area interessata dall'intervento di consolidamento è ubicata in località Montevecchio nel Comune di Cesena (FC), sul versante in destra idrografica del fiume Savio a monte della confluenza con il torrente Borello, nei pressi dell'incrocio tra la S.P. n.138 e la S.P. n.75.

Si pone ad una quota compresa tra 73 e 215 metri s.l.m, lungo un versante caratterizzato da una morfologia calanchiva dovuta alla presenza quasi esclusiva di litologie argillose. Il substrato roccioso appartiene al membro pelitico della Formazione a Colombacci del Messiniano, costituito da masse argillose laminate estremamente sensibili all'alterazione fisica dovuta all'umidità (piogge, infiltrazioni incontrollate, ristagni), alle variazioni di temperatura (disseccamento e rigonfiamento) ed alla decompressione a seguito dell'esposizione in affioramento. Il versante nord orientale presenta una disposizione della stratificazione a franapoggio inclinato come il pendio (circa 40°), situazione strutturale predisponente al dissesto idrogeologico, mentre il versante ad esso opposto ha un assetto a reggipoggio. I due versanti mostrano una differente velocità nell'arretramento a monte dei dissesti, palesemente maggiore sul fianco a reggipoggio. I dissesti presenti sono legati alla generale assenza di una copertura vegetale stabile ed alla erosione diffusa, responsabili nel tempo di consistenti accumuli di detrito argilloso lungo l'asse principale della vallecchia. Il periodico innesco di movimenti gravitativi diffusi ed estesi che hanno traslato verso il basso nel corso degli ultimi decenni l'ammasso detritico, hanno depositato un'enorme quantità di detrito argilloso in equilibrio metastabile in assenza di acqua, ma estremamente instabile in caso di saturazione. Numerose colate minori sono presenti nell'area calanchiva e sono responsabili di continui accumuli di dimensioni ridotte a ridosso del corpo principale, contribuendo nel corso del tempo ad aumentarne l'instabilità gravitativa.

Le accelerazioni del movimento sono legate alle piogge, con una risposta allo spostamento dell'ammasso detritico di qualche ora se saturo e/o con falda superficiale saliente, di circa 24-48 ore se il corpo di frana si presenta parzialmente disseccato in superficie. Comunque, in occasione di poche decine di millimetri di precipitazioni nel breve periodo, l'ammasso detritico si riattiva sensibilmente con un movimento principalmente assimilabile ad uno scivolamento traslativo.

2) STUDI PRECEDENTI

L'area di studio è stata indagata per la realizzazione della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:10.000 e più in dettaglio nel corso dei rilievi geologici, morfologici ed idrogeologici, corredati da rilievi topografici di dettaglio, nel corso degli ultimi anni. In particolare, dagli anni '80 funzionari del Servizio scrivente hanno analizzato l'area sia per questioni inerenti alla richiesta di svincolo idrogeologico per la realizzazione di opere e strutture (si veda in particolare gli studi del geol. Aldo Antoniazzi degli anni '80 e del Geol. Paride Antolini nel 1998), oltre alle numerose segnalazioni di problemi di dissesto idrogeologico dell'area dal 1995 al 2014, con sopralluoghi e relazioni da parte dei geologi della Regione Emilia-Romagna.

Attualmente sono in corso studi e monitoraggi da parte delle Università di Bologna UNIBO (prof. Berti) e di Modena - Reggio UNIMORE (Prof. Corsini) in concertazione col Servizio scrivente, iniziati nella primavera 2014. In particolare, i risultati parziali degli studi in corso del prof. Berti hanno permesso di ottenere informazioni importanti per la progettazione di parte delle opere previste.

3) STRATIGRAFIA

Le Note Illustrative al Foglio Geologico in scala 1:100.000 “Mercato Saraceno” e quello 1:50.000 n. 255 “Cesena” (Cremonini e Farabegoli, 2010), presentano la situazione geologica e geomorfologica del contesto nel quale si pone il perimetro della frana.

I terreni presenti nella vallecchia calanchiva del Fosso di Ribianco e suoi tributari di rango inferiore, teatro dei problemi di dissesto idrogeologico in oggetto, sono sempre prevalentemente argillosi o argilloso marnosi ed argilloso limosi, con presenza sporadica di arenarie poco cementate che forniscono sottili spalmature sabbiose sul corpo di frana una volta crollate sul detrito. Il fianco settentrionale costituisce un versante a franapoggio inclinato come il pendio, lungo il quale affiora esclusivamente il Membro pelitico della Formazione a Colombacci messiniana (FCO), mentre il fianco meridionale, nel quale affiora il suddetto Membro pelitico, presenta un assetto medio a reggipoggio o a traverpoggio stabilizzante.

I terreni litoidi formazionali sono ricoperti a luoghi dai depositi quaternari di origine gravitativa lungo tutte le aste fluviali e lungo i rami minori laterali, mentre i depositi alluvionali sono localizzati essenzialmente al di sotto del piede di frana nell'area caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali recenti ed attuali appartenenti al fondo valle fiume Savio (terzultimo e penultimo ordine alluvionale terrazzato del fiume Savio).

Per il quadro geologico d'insieme si veda la Tav. 2.

I terreni presenti vengono di seguito descritti procedendo dal più antico al più recente.

In zona il substrato roccioso è rappresentato da una parte della successione autoctona romagnola compresa nell'intervallo Pliocene basale - Miocene superiore. In particolare, sono presenti alcuni membri appartenenti alla Formazione a Colombacci, i Ghioli di Tetto, la Formazione Gessoso – Solfifera, i Ghioli di Letto e la Formazione delle Argille Azzurre con le marne di Cella alla base del Pliocene. Queste unità si presentano fratturate ed alterate per la presenza sia di disturbi sinsedimentari (franamenti intra ed extraformazionali) che di una importante zona di faglia a nord di Borello. Nella esposizione ci si limiterà a descrivere esclusivamente i terreni presenti nell'area d'intervento.

Formazione a Colombacci, Membro pelitico (parte alta del Messiniano): fittissima alternanza tra argille, marne, siltiti e sporadiche arenarie in livelli discontinui (ma continui alla scala dell'affioramento, come per lo strato spesso circa 1,5 m affiorante in testa alla vallecchia calanchiva settentrionale); sul versante meridionale presenti lenti arenitiche non cartografabili che evidenziano strutture deformative locali a pieghe irregolari e dislocative (micro, meso e macrofaglie, vedi all. fotografico); i livelli calcarei denominati Colombacci sono assenti in zona in quanto affiora la parte alta della Formazione. Il colore d'insieme è grigio con svariate sfumature che virano dal verde all'azzurro, al tabacco ed al nero. Presenti fossili calcarei bianchi dulcicoli, mentre sono privi di microfossili di origine marina. Presenti minuscoli noduli piritici.

Depositi alluvionali terrazzati (Olocene): i depositi grossolani sono costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, sempre a base erosiva, il cui spessore è generalmente inferiore a 4 metri; la porzione fine, peliti più o meno sabbiose generalmente di colore bruno, sono spesse da 3 a 6 metri. La stratigrafia del ciclo-base alluvionale che costituisce questi depositi è dato alla base da ghiaie a base erosiva seguite da limi sabbiosi e limi argillosi di trascinamento e piana alluvionale, secondo una tipica sequenza positiva.

Depositi di origine gravitativa (Olocene superiore): la loro stratigrafia è nota dettagliatamente grazie ai numerosi saggi, sondaggi ed indagini geognostiche effettuate in loco. Si tratta di materiale pelitico caotico privo di qualsiasi struttura o variazione (gradazione) granulometrica, contenente sporadici frammenti litoidi arenacei (cogoli e frammenti di strati, talora macerie al piede provenienti dalla distruzione nel 1979 dei capannoni per la lavorazione dei solfati provenienti dalle vicine cave di gesso). Lo spessore massimo è di circa 13 metri nella parte

bassa della frana. Dall'inizio del controllo continuo del dissesto (febbraio 2014) sino a giugno 2015, il corpo di frana ha sempre avuto la falda al piano campagna, localmente in emersione ed i materiali detritici argillosi sempre saturi, perlomeno per la parte medio bassa. Attualmente, il livello freatico si mantiene prossimo al piano campagna, facilmente determinabile dalla presenza di acqua di falda all'interno delle crepacciature.

4) PROBLEMI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO ED INTERVENTI ESEGUITI

Attualmente la zona di Montevecchio è all'esame del Comitato Tecnico Scientifico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli per essere inserita tra le aree a rischio a rischio frana del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico e, come tali, normate in base alla L. 267/98.

L'evento franoso ha interessato la vallecchia del Fosso di Ribianco sino a raggiungere le abitazioni a valle di esso in prossimità della s.p. n. 138 nel febbraio 2015. Già nel 1979 un precedente dissesto distrusse capannoni e depositi ad una ventina di metri dalla rimessa esistente ed una torre dei magazzini nel 2014. Attualmente la frana è soggetta a rapide accelerazioni in occasione di eventi meteorici importanti (superiori ad alcuni cm/H₂O per giorno) o persistenti per alcuni giorni, quindi la possibilità di potere effettuare ricognizioni con mezzi meccanici è legata esclusivamente a periodi siccitosi duraturi.

Sono stati effettuati diversi interventi di messa in sicurezza in emergenza a partire dal febbraio 2014 ad opera del Servizio Protezione Civile del Comune di Cesena, consistiti nella realizzazione di n. 3 briglie in terra battuta, di cui la prima, nella parte bassa del franamento, non è stata completata per l'impossibilità di lavorare il materiale in sicurezza a causa del rapido spostamento a valle del detrito argilloso. Si è potuto procedere alla sua realizzazione solo nel maggio 2014 per completarla. E' stato inoltre asportato al piede il detrito in avanzamento in quanto aveva già raggiunto le abitazioni per una cubatura complessiva di circa 60.000 m³ di detrito argilloso a maggio 2015. Lo spostamento si è sempre reso necessario a causa della saturazione del corpo di frana costante dal 2014 che ha impedito qualsiasi intervento nell'arco temporale di un anno per le persistenti condizioni meteoriche sfavorevoli. Nel periodo delle prime opere provvisorie di messa in sicurezza, i privati proprietari dei terreni coinvolti nel dissesto hanno provveduto a riprofilarne la superficie ed a realizzare fossi di scolo per ridurre al minimo le infiltrazioni idriche incontrollate all'interno della massa detritica.

Attualmente è in corso lo studio ed il monitoraggio in continuo del dissesto da parte delle Università di Modena e Reggio (UNIMORE) e di Bologna (UNIBO) in concertazione con il questo Servizio. Dal maggio 2014 sono stati installati due sistemi di monitoraggio in continuo per valutare gli spostamenti verticali ed orizzontali della superficie del dissesto (sistema con rilevamento automatico GPS, con una interruzione tra dicembre 2014 ed aprile 2015) e, sperimentalmente, le variazioni delle Vs nel detrito a seguito dello spostamento verso valle del detrito argilloso congiuntamente al rilevamento di immagini dell'area monitorata.

Ad opera del Servizio scrivente sono state eseguite due campagne geognostiche con l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche pesanti, statiche elettriche, stratigrafie sismiche (HVSR) e linee sismiche, oltre alla raccolta di un campione indisturbato di detrito al piede del franamento. Per l'ubicazione si veda la planimetria in scala 1:2.000.

Nel luglio 2015 sono stati posizionati 15 piezometri fessurati per i primi 60 cm profondi 2 metri, allineati secondo l'asse del dissesto, dal piede fino alla base delle nicchie di distacco, al fine di ottenere informazioni sulla capacità e tempistica da parte dell'ammasso detritico di subire abbassamenti locali del tetto freatico in occasione della stagione siccitosa.

5) FINALITA'

Lo stralcio stanziato per le opere in oggetto servirà per realizzare:

- opere superficiali atte ad impedire l'infiltrazione incontrollata a ridosso della briglia di monte a ridosso della nicchia settentrionale, realizzata col precedente stralcio, quali una rete di scolo superficiale, rafforzamento del piede in terra battuta e costipata alla base della nicchia, piantumazione arbustiva ed inerbimento, riduzione dell'acclività della parete rocciosa in rapida disagregazione;
- ricostruzione della briglia distrutta a seguito dell'evento parossistico di febbraio 2015 drenata a tergo con realizzazione di sistemi di allontanamento delle acque raccolte a monte di esse tramite condotte di scolo perforate per sopperire ai dislivelli esistenti tra la base delle briglie ed i fossi di scolo;
- riprofilatura dell'area dissestata e realizzazione di una rete di scolo superficiale per l'allontanamento subitaneo e controllato delle acque reflue di origine meteorica;
- realizzazione di una rete di drenaggi tradizionali superficiali (entro i 4 metri di profondità rispetto al piano campagna riprofilato), parte in sabbia media lavata, parte in scapolame di piccola taglia (40-70 mm);
- realizzazione di opere di consolidamento superficiali (opere di ingegneria naturalistica, riprofilatura e realizzazione di fossi di scolo per evitare infiltrazioni incontrollate e ristagni) per la bonifica dei dissesti superficiali dei dissesti nella parte alta delle vallecole apicali, dove si generano le quantità principali di detrito argilloso assieme all'impermeabilizzazione del fosso di scolo presente a monte del coronamento del calanco;
- rinverdimento e piantumazione arbustiva delle aree in dissesto ed a ridosso di esso;
- sistemazione superficiali (riprofilatura e regimazione idrica superficiale) dei dissesti sul fianco sinistro della vallecola che hanno interessato sia aree calanchive che boscate.

6) CENNI DI TETTONICA

L'assetto tettonico dell'area è condizionato da pieghe strette ed in parte fagliate con retroscorrimenti causati dalla resistenza di ammassi più resistenti subito a nord est dell'asse anticlinalico; un sistema con caratteristiche simili si pone poco più a sud ovest, (pieghe e faglie a vergenza appenninica). Sono entrambi parzialmente dislocati da lineamenti tettonici disgiuntivi trasversali dotati di scarsa continuità, ad indicare che queste strutture trasversali alla catena hanno più che altro origine per svincolo cinematico delle strutture principali appenniniche (vedi Tav. 2). Questi sistemi sono la causa principale della fratturazione, alterazione e delle dislocazioni del substrato formazionale, enfatizzati da locali fenomeni di franamento sottomarino sinsedimentario o sulla scarpata costiera che hanno generato disturbi alla media e grande scala. Il carattere cinematico generale è compressivo, sia con vergenza appenninica che retrovergente; si tratta di faglie inverse appenniniche con orientamento conforme al carattere regionale (NO – SE) con piano di scorrimento ad alto angolo, generalmente maggiore di 60°.

In scala minore, quanto indicato sopra è parzialmente osservabile nell'area dissestata oggetto di questo lavoro; infatti, mentre il fianco destro è caratterizzato da una monoclinale con vergenza meridionale che genera un fianco a franapoggio inclinato come il pendio e localmente più inclinato del pendio, piuttosto omogenea e costante in termini d'inclinazione (sempre sui 40°), sul fianco opposto si osservano pieghe scolorari, dislocazioni alla mesoscala, brusche

variazioni di pendenza della stratificazione, che in generale determinano un assetto a traverpoggio stabilizzante (vedi foto allegate). Poco più a sud riprende la vergenza monoclinale verso sud sud ovest

7) STATO DI FATTO

Negli ultimi 18 mesi sono stati effettuati numerosi sopralluoghi, che aggiunti al monitoraggio in continuo (spostamenti verticali ed orizzontali, livelli piezometrici e variazioni locali delle Vs) effettuato dalle Università di Bologna e Modena-Reggio, hanno contribuito alla acquisizione di numerosi dati ed elaborati; inoltre, sono state realizzate alcune campagne geognostiche con saggi meccanici, prove penetrometriche statiche e dinamiche, rilievi topografici, tomografici e sismici. Queste informazioni hanno permesso di avere una dettagliata conoscenza dell'ubicazione del piano di scivolamento dell'ammasso detritico e la posizione nel sottosuolo del substrato fresco e stabile, oltre all'andamento della superficie freatica nella parte medio bassa del franamento, per la preparazione dei piani di posa delle briglie in terra in progetto e per determinare la profondità di realizzazione della rete di drenaggi e loro struttura (se in sabbia o scapolame, con tessuto non tessuto o meno).

La stratigrafia e spessore del corpo detritico è rappresentato nelle sezioni geologiche allegate alla presente relazione geologica, mentre la stratigrafia di progetto è descritta al § 8.

La finalità degli interventi, è di consolidare il corpo di frana e bonificare le aree al contorno che contribuiscono, tramite il deterioramento, movimento e crollo di porzioni di substrato argilloso lungo il coronamento del calanco, a fornire di materiale detritico il corpo del franamento principale e, di conseguenza, a mantenerlo in equilibrio precario o del tutto instabile.

La zona franosa verrà suddivisa in 4 parti (di cui quella apicale occidentale già in buona parte sistemata in sicurezza) tramite la realizzazione di altre briglie in terra battuta. Quella posta alla quota di 110 m s.l.m.m. (briglia mediana), realizzata dal Comune nella primavera c.a. è stata danneggiata per circa l'80% dell'opera dalla riattivazione di febbraio 2015, conservando solo le spalle per alcuni metri a ridosso dei fianchi in roccia, per cui verrà considerata come opera da realizzare *ex novo*. È stata realizzata una briglia al di sotto della scarpata di nicchia nella vallecchia alta in destra del calanco per impedire ulteriore apporto detritico al corpo di frana centrale, suscettibile di continui movimenti in occasione di persistenti eventi pluviometrici; saggi realizzati in data 03/07/2015 hanno incontrato il substrato fresco alla profondità di circa 6,5 - 7,0 metri nella parte centrale del calanco ed una venuta persistente proprio al piede della nicchia, allontanata tramite un drenaggio tradizionale realizzato al limite tra roccia in posto e briglia in terra. Per evitare modifiche nello stato fisico del materiale argilloso compattato per la formazione delle briglie, verrà scongiurato l'arrivo di acqua a tergo della briglia, oltre che dal drenaggio che capta una sorgente, tramite opere di regimazione idrica superficiale in nicchia, impermeabilizzazioni dei fossi ed inerbimento di tutta l'area a monte di essa. Difatti, l'assenza o la carente regimazione idrica superficiale, oltre alla dispersione delle acque raccolte da alcuni drenaggi in località Ca' Rossa e rilasciati in maniera incontrollata a monte della nicchia principale, è attualmente responsabile delle continue infiltrazioni all'interno del corpo detritico che creano sacche di acqua nel detrito, ammolamento e decompressione accelerata del substrato marnoso argilloso fresco, come verificato durante l'esecuzione degli scavi per la realizzazione dei piani di posa delle briglie esistenti.

I dissesti superficiali subito a monte del coronamento su entrambe le vallecchie, sono responsabili di variazioni negli assetti del fragile equilibrio della testa del calanco (dove erosione e dilavamento denudano continuamente il substrato roccioso rendendolo soggetto ad un rapido decadimento geotecnico, con perdita di coesione e decompressione della roccia che può così trasformarsi in detrito sciolto nell'arco di poco tempo dall'arrivo delle acque d'infiltrazione ed in poco spazio- pochi metri - a seguito della traslazione gravitativa). Da qui la possibilità per le

acque ruscellanti di potersi infiltrare nelle discontinuità strutturali create dai giunti di strato e dal fitto sistema di fratturazione di origine tettonica enfatizzato dall'esposizione agli agenti esogeni e permettere ad ampie porzioni di substrato roccioso argilloso di rigonfiarsi e scivolare sulle superfici di strato, disposte a franapoggio inclinato come il pendio. Al piede delle scarpate in roccia è stato osservato frequentemente il piegamento ed il rigonfiamento degli strati (da superfici perfettamente omogenee con pendenza costante a superfici incurvate e piegate a testimoniare la traslazione in atto di questi blocchi rocciosi grossolanamente a forma di parallelepipedi, sensibili alla spinta della parte di versante subito a tergo dei "liscioni" di frana. Questo materiale roccioso si scompone in frammenti lapidei decimetrici a frattura concoide o angolare che si trasformano in detrito argilloso dopo soli pochi metri di traslazione verso valle. Anche i fianchi delle due vallecole di monte con roccia in posto, caratterizzate da dissesto diffuso ed accumuli detritici di diversi metri, mostrano gli affioramenti della Formazione a Colombacci con roccia decompressa ed alterata che determina arretramenti verso monte del limite del calanco, oltre che per erosione e dilavamento, anche per crolli subitanei con apporti non trascurabili sul ammasso detritico in termini di appesantimento. Anche se trattasi di roccia in posto, per la preparazione delle spalle delle briglie in terra in questa parte del calanco, si dovrà prevedere l'asportazione di una parte di substrato roccioso in posto al fine di ancorarsi lateralmente a materiale argilloso marnoso impermeabile e provvedere alla sua protezione con opere di ingegneria naturalistica, fossi di scolo, inerbimenti e posa di arbusti e cespugli.

8) ASPETTI SISMICI DELL'AREA

Per l'area in oggetto è ipotizzabile un massimo di intensità sismica compreso tra il VII e VIII grado della scala Mercalli-Cancani Sieberg, pari ad una magnitudo compresa tra 5,4 e 6,1.

Le sorgenti sismogenetiche che possono causare risentimenti in quest'area sono legate ai fronti di accavallamento appenninici posti a diversi km da Borello sia verso sud ovest che a nord est, ed alle linee trasversali e longitudinali affioranti sia sui rilievi che nel fondo valle (per le linee trasversali) in prossimità dell'area in oggetto ed indicate nella carta geologica regionale.

Il terreno è formato da materiali prevalentemente coesivi per caratteristiche litologiche (argille prevalenti, detrito argilloso) e cementazione primaria (roccia argillosa in posto) e sovraconsolidati per carico litostatico (roccia in posto). In queste condizioni il rischio di liquefazione è escluso, come pure quello di cedimenti per densificazione.

La presenza di scarpate superiori ai 15° nella zona d'intervento prevede lo sviluppo di fenomeni di amplificazione topografica nella parte alta del calanco, dove tuttavia non sono previsti interventi per il presente stralcio.

Secondo la normativa delle costruzioni vigente (DM 14/01/08), il terreno indagato appartiene alla categoria di suolo di fondazione di **tipo C**: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Il coefficiente di amplificazione topografica può essere assunto pari ad uno ($S_T=1$) nelle verifiche di stabilità globale poiché trattasi di pendio con inclinazione media inferiore a 15°:

Parametro	Categoria suolo	Latitudine	Longitudine	Categoria Topografica (S_T)
-----------	-----------------	------------	-------------	---------------------------------

Valore	C	44,0462	12,1921	1,0
--------	----------	---------	---------	-----

Il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s è funzione della pericolosità di base del sito (definita da latitudine e longitudine e dallo stato limite considerato) e della categoria di sottosuolo (tipo C); adottando una vita di riferimento $VR=50$ anni si ha:

Parametro	Stato Limite	Periodo di ritorno (TR)	Pericolosità di base (ag)	Coefficiente stratigrafico (S_s)
Valore	SLD	50 anni	0,081g	1,50
	SLV	475 anni	0,200g	1,41

Il valore dell'accelerazione massima al suolo (accelerazione di ancoraggio dello spettro di progetto) da utilizzarsi nelle verifiche geotecniche e strutturali sarà:

$$a_{max} = ag \times S_s \times S_T$$

Parametro	Stato Limite	Periodo di ritorno (TR)	Pericolosità di base (ag)	Coefficiente stratigrafico (S_s)	Coefficiente topografico (S_T)	Accelerazione max al suolo (a_{max})
Valore	SLD	50 anni	0,081g	1,50	1,0	1,199
	SLV	475 anni	0,200g	1,41	1,0	2,772

Tabella 1: Accelerazione massima al suolo $ST=1$, latitudine 44,0462, longitudine 12,1921

Punti della maglia:

Sito 1	ID: 18962	Lat: 44,0275	Lon: 12,1691	Distanza: 2770,879
Sito 2	ID: 18963	Lat: 44,0282	Lon: 12,2387	Distanza: 4224,178
Sito 3	ID: 18741	Lat: 44,0782	Lon: 12,2377	Distanza: 5098,682
Sito 4	ID: 18740	Lat: 44,0775	Lon: 12,1681	Distanza: 3974,987

9) STRATIGRAFIA DI PROGETTO

Ai fini progettuali la stratigrafia dei terreni sui quali si interviene può essere così schematizzata:

- Strato 1: bedrock sismico costituito da argille e limi marnosi con sporadici livelli centimetrici di arenaria e siltite cementata riconducibile alla categoria B dei terreni (spessore •);
- Strato 2: bedrock alterato costituito da argille e limi marnosi prevalenti alterate e fratturate non traslate gravitativamente, generalmente appartenenti alla categoria C dei terreni (spessore massimo 1 metro);
- Strato 3: detrito argilloso limoso saturo costituito da argille molli grigie ed argille organiche nerastre inconsistenti fortemente adesive contenente rari frammenti lapidei decimetrici (spessore massimo 13-14 metri);
- Stato 4: detrito argilloso limoso superficiale essiccato estremamente tenace, che ritorna allo stato dello Strato 3 se a contatto con acqua (spessore massimo 0,5 metri).

Questo strato è presente solo nel periodo siccitoso estivo dopo alcune settimane di assenza di precipitazioni.

10) IDROGEOLOGIA ED INTERFERENZE COL SISTEMA IDROGEOLOGICO

Alla data della redazione della presente Relazione, il corpo di frana risulta praticamente saturo o con tavola d'acqua a pochi decimetri dal piano campagna perlomeno sino alle quote di circa 125 m s.l.m.m., ovvero fino al congiungimento delle due valleciole di monte. Sia i piezometri installati a monte della briglia intermedia, che lo scavo al piede del dissesto in prossimità dell'autorimessa e chiusi a metà settembre, hanno sempre mostrato livelli piezometrici al piano campagna, o addirittura salienti a monte della briglia di cui sopra a seguito di eventi pluviometrici più continui e/o persistenti.

Poiché trattasi di materiale detritico prevalentemente argilloso e solo in bassa percentuale limoso, caratterizzato da una permeabilità primaria praticamente nulla, si possono escludere flussi orizzontali e/o verticali in condizioni di saturazione. La permeabilità secondaria dovuta a crepe ed irregolarità morfologiche (contropendenze, increspature del piano campagna, fratture dovute ai piani di scivolamento che si spingono anche ad alcuni metri di profondità, ecc.), è responsabile dello sviluppo di moti idraulici all'interno dell'ammasso detritico, principalmente concentrati lungo i piani di scivolamento. Le acque presenti all'interno del corpo di frana possono essere captate prima che possano infiltrarsi sino ai piani di scorrimento tramite una fitta rete di drenaggi tradizionali nella parte superficiale del corpo detritico realizzata previa riprofilatura del dissesto, regolarizzazione della superficie, per convogliare le acque verso i fossi a lato del dissesto permettendo un rapido allontanamento delle acque meteoriche ed evitando le infiltrazioni che attualmente permettono il mantenimento del corpo detritico saturo per continui apporti tramite le infiltrazioni incontrollate superficiali. La costruzione delle briglie in terra responsabili della scomposizione dell'ammasso detritico sono finalizzate all'ottenimento di una drastica riduzione della spinta complessiva sulle opere.

In base all'osservazione dell'evoluzione del dissesto, è stato definito il cinematismo dell'ammasso detritico; in occasione di eventi pluviometrici intensi e/o persistenti, dopo poche ore (al massimo 36 h in funzione dell'intensità delle piogge) si ha la riattivazione del corpo di frana con modalità di scivolamento traslativo, ad indicare il raggiungimento delle acque infiltranti della superficie di scivolamento in quantità sufficiente da generare il suo innesco.

I sistemi drenanti indicati in precedenza, sono importanti per impedire il raggiungimento delle acque alla base del corpo intercettandole prima che vi possano arrivare. La realizzazione della briglia di monte non necessita di dreni a tergo, in quanto le opere sono sigillate alla nicchia con substrato roccioso fresco e pressoché impermeabile, mentre quelle più a valle, per evitare la formazione di una barriera impermeabile che blocca il transito delle acque di falda e la formazione di sacche subito a tergo dell'opera, prevedono drenaggi a tergo di esse.

La presenza di numerosi ristagni di dimensioni variabili, confermano lo stato di saturazione del detrito (le acque ristagnano nelle stesse posizioni da mesi fino alla traslazione dei piccoli bacini verso valle, non permettendo di determinare con esattezza dove ubicare le opere di scolo superficiali se non durante gli interventi stessi) ed in caso di smaltimento delle acque sotterranee nel tempo ed in assenza di precipitazioni con l'abbassamento della falda, garantiscono comunque un ulteriore dannoso afflusso di acqua nel terreno o il mantenimento della consistenza del detrito in stato plastico o semiplastico.

La realizzazione degli scavi per la preparazione della base d'appoggio del basamento delle briglie interessa i terreni detritici argillosi ed il sottostante Membro pelitico della Formazione a Colombacci (FCO). La falda idrica può interferire con le opere e gli sterri con maggiore probabilità nella parte bassa del dissesto, per cui gli scavi dovranno avere una larghezza tale da permettere il controllo delle pareti di scavo a monte in caso di rigonfiamenti, cedimenti o afflussi idrici da falda o sacche di ristagno nel terreno.

Le misure piezometriche effettuate sia con sopralluoghi in sito che tramite le misurazioni in continuo da parte dell'Università di Bologna indicano la presenza della falda superficiale sempre prossima al piano campagna per il periodo monitorato, da febbraio 2014 a giugno 2015 per la

parte medio bassa del corpo di frana. Gli ultimi saggi effettuati qualche decina di metri a valle della nicchia di distacco principale settentrionale non hanno rilevato la presenza di alcuna falda.

11) ORIENTAMENTI GEOTECNICI

La realizzazione dei piani d'appoggio delle briglie in terra saranno realizzate su roccia argilloso limoso marnosa in posto (strato 1 del § 8) con stratificazione a franapoggio più inclinata del pendio ed a traverpoggio sui fianchi dove ci si dovrà ammorsare. Per il rialzo della briglia esistente nella vallecchia occidentale, il piano d'appoggio è costituito da terreno di riporto già rullato e costipato.

L'assetto strutturale della stratificazione lungo il fianco settentrionale del calanco, dove si origina la maggior parte di detrito, è a franapoggio inclinato come il pendio, con pendenze di circa 45° e dislivello massimo di 30 metri tra il ciglio superiore e la base della scarpata. Attualmente, nonostante il periodo siccitoso e la quasi totale assenza di acqua nell'area di nicchia, a spostamenti di terreno detritico per la realizzazione del piano di posa della briglia di monte, corrispondono richiami verso valle di porzioni di roccia in posto, ad indicare lo stato di equilibrio al limite della stabilità per l'area del coronamento del dissesto.

L'area in dissesto si estende per oltre 38.000 m² con una profondità media della superficie di scivolamento di circa 10 m con punte di 14 m e volumi di terreno in frana di oltre 350.000 m³; viste le dimensioni del dissesto e la precarietà statica sia dell'ammasso detritico che della roccia in posto, sia essa a franapoggio che a traverpoggio, non si riesce a garantire il completo successo del progetto di consolidamento per la completa stabilizzazione della frana e la messa in sicurezza dell'area coinvolta, visto il comportamento del corpo di frana in occasione di piogge importanti, come osservato nelle riprese realizzate dall'Università di Bologna, che testimoniano scivolamenti traslativi dell'intero corpo di frana con spinte al piede non gestibili con opere strutturali di contenimento.

L'obiettivo che ci si pone è il consolidamento del versante coinvolto dal dissesto per la riduzione del rischio mediante la realizzazione di opere di raccolta ed allontanamento delle acque meteoriche per evitare la saturazione del detrito, la sistemazione della superficie del dissesto e la chiusura delle discontinuità, responsabili dell'apporto di liquidi verso le superfici di scivolamento, assieme alla realizzazione di una fitta rete di dreni superficiali (o comunque entro i 4 metri di profondità), sempre per evitare apporto di fluidi verso le superfici di discontinuità. La realizzazione delle opere previste nel presente progetto e la loro manutenzione nel tempo, che dovrà essere gestita dalle parti coinvolte (proprietari, Comune, STBR), al fine di prevenire eventuali evoluzioni dei dissesti che possano interferire a qualsiasi livello con le opere eseguite per evitare il loro deterioramento nel tempo.

La sistemazione ed implementazione della rete scolante superficiale esistente ed il ripristino della copertura vegetale erbacea ed arbustiva sarà necessaria a seguito dei lavori di riprofilatura del versante al fine di eliminare asperità, irregolarità morfologiche e contropendenze presenti nell'area dissestata; la realizzazione di questi interventi parte dalle aree caratterizzate da maggiore instabilità e si sposta per il loro completamento verso monte per concludersi nelle aree di coronamento a cui corrispondono, in generale, effetti più evidenti sul territorio e sulle forme del versante. In particolare, per l'area sorgente della maggior parte del detrito argilloso che ha alimentato il corpo di frana dagli inizi della fase parossistica (vallecchia calanchiva in destra calanco e, successivamente, vallecchia orientale all'apice del calanco), dove è stata realizzata una briglia in terra nella parte più pianeggiante e stretta sino a creare un piede alla scarpata principale, oltre ad un fosso impermeabilizzato a tergo di essa che transita le acque verso il Fosso di Ribianco, è prevista la riduzione della pendenza della parete per facilitarne la rinaturalizzazione e ripristinarne la stabilità.

Durante la campagna geognostica del 2014 a cura del Servizio scrivente, è stato prelevato un campione indisturbato all'interno del corpo detritico principale al piede del dissesto alla profondità di un metro dal piano campagna.

I parametri geotecnici di sintesi sono stati dedotti dalle prove penetrometriche e da campioni ottenuti in un simile contesto negli stessi terreni di frana nell'area di Borello prelevati a varie

profondità all'interno del corpo detritico principale durante la campagna geognostica del 1985-1988 a cura del Servizio Provinciale Difesa del Suolo Risorse Idriche e Forestali di Forlì (di seguito riportati) per la progettazione delle briglie in terra battuta. Tali parametri, di seguito elencati, sono stati verificati con i risultati delle prove sul campione analizzato presso il laboratorio dell'Università di Bologna.

Si tratta dei valori dei parametri più rappresentativi e più cautelativi per il calcolo strutturale delle opere. Bisogna tenere presente che la roccia marnosa risulta sovraconsolidata e con ottime caratteristiche geotecniche, a condizione che sia sempre perfettamente protetta dall'arrivo di acque d'infiltrazione e non soggetta a fenomeni di deterioramento fisico (variazioni sensibili della temperatura, di umidità, ecc.):

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI (DETRITO)

$\bullet' = 0^\circ$, $\bullet_{\text{sat}} = 1,80 \text{ g/cm}^3$, $\bullet d = 1,40 \text{ g/cm}^3$, $\text{Cu} = 0,20 \text{ kg/cm}^2$.

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI (ROCCIA ALTERATA E ROCCIA TRASLATA)

$\bullet' = 22^\circ$, $\bullet_{\text{sat}} = 1,85\text{-}1,95 \text{ g/cm}^3$, $\bullet d = 1,50\text{-}1,60 \text{ g/cm}^3$, $\text{Cu} = 0,80 \text{ kg/cm}^2$.

PARAMETRI GEOTECNICI INDICATIVI (ROCCIA)

$\bullet' = 26^\circ$, $\bullet_{\text{sat}} = 2,00\text{-}2,05 \text{ g/cm}^3$, $\bullet d = 1,65\text{-}1,75 \text{ g/cm}^3$, $\text{Cu} = 1,50 \text{ kg/cm}^2$.

Parametri geotecnici di sintesi delle prove di laboratorio dei campioni indisturbati prelevati a Borello negli anni '80.

DETRITO

$\bullet' = 20^\circ$, $\bullet = 1,95 \text{ g/cm}^3$, $\bullet d = 1,50 \text{ g/cm}^3$, $\text{Cu} = 0,60 \text{ kg/cm}^2$, $\bullet r$ (prova edometrica) 13° .

ROCCIA

$\bullet' = 25^\circ$, $\bullet = 2,05 \text{ g/cm}^3$, $\bullet d = 1,68 \text{ g/cm}^3$, $\text{Cu} = 1,20 \text{ kg/cm}^2$, $\bullet r$ (prova edometrica) ---.

Trattasi sempre di argille con limo e sporadiche sabbie (rif. campione analizzato dal Laboratorio Geode di Mularoni, RN per conto del Comune di Cesena nell'agosto 2014).

12) CONCLUSIONI

Dal febbraio 2014 sino a maggio 2015 la frana di Montevercchio, a seguito di intensi e persistenti eventi pluviometrici, si è riattivata fino a raggiungere le abitazioni al piede di essa. Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi per verificare lo stato di fatto al fine di stabilire come intervenire e quali misure adottare per i lavori di consolidamento. In particolare:

- le piste di accesso al cantiere per la realizzazione delle briglie tramite mezzi meccanici verranno realizzate in parte sul corpo di frana ed in parte nelle aree agricole adiacenti ad essa; permetteranno di raggiungere le aree di realizzazione delle opere senza innescare alcun problema di dissesto dovuto alla loro realizzazione, in quanto per il transito sul dissesto si percorrerà la parte di frana non interessata dai movimenti del 2014 ed attualmente consolidata naturalmente;
- le opere come da progetto, peraltro poco invasive dal punto di vista morfologico (briglie in terra realizzate col detrito argilloso del corpo di frana e che si sopraelevano dalla massa detritica dai 2 ai 4 metri, opere di ingegneria naturalistica e riprofilature, reti scolanti superficiali, drenaggi sotterranei), permetteranno di stabilizzare e consolidare ulteriormente le briglie esistenti (vallecola occidentale) e di mantenere in equilibrio l'area di frana
- la falda idrica sotterranea verrà captata a tergo delle opere (briglie mediane) e gli scarichi convoglieranno le acque raccolte verso i sistemi di scolo superficiale esistenti e di nuova realizzazione ai margini dell'area in dissesto;

- i terreni nei quali si interverrà appartengono alla categoria C (NTC 2008), come dedotto dalle indagini meccaniche e geofisiche;
- la falda di progetto può essere valutata nelle aree di intervento al livello del piano campagna dalla confluenza delle due vallecole verso valle, in quanto durante le stagioni piovose risale fino alla superficie e mantiene i terreni detritici totalmente saturi; per le vallecole a monte vi è una falda effimera che tende a scomparire nelle stagioni siccitose, che permette al piano di scivolamento del detrito di asciugarsi per alcuni mesi all'anno;
- non vi sono controindicazioni sia per l'accessibilità alle aree che per la esecuzione dei lavori.

Cesena, 17/07/2015

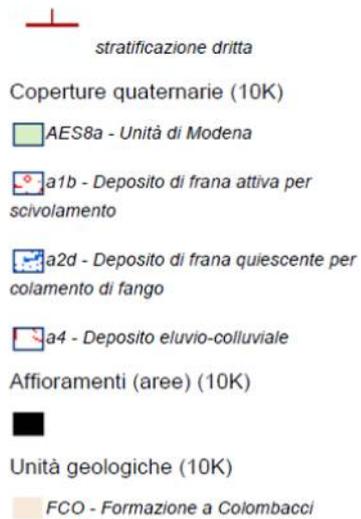
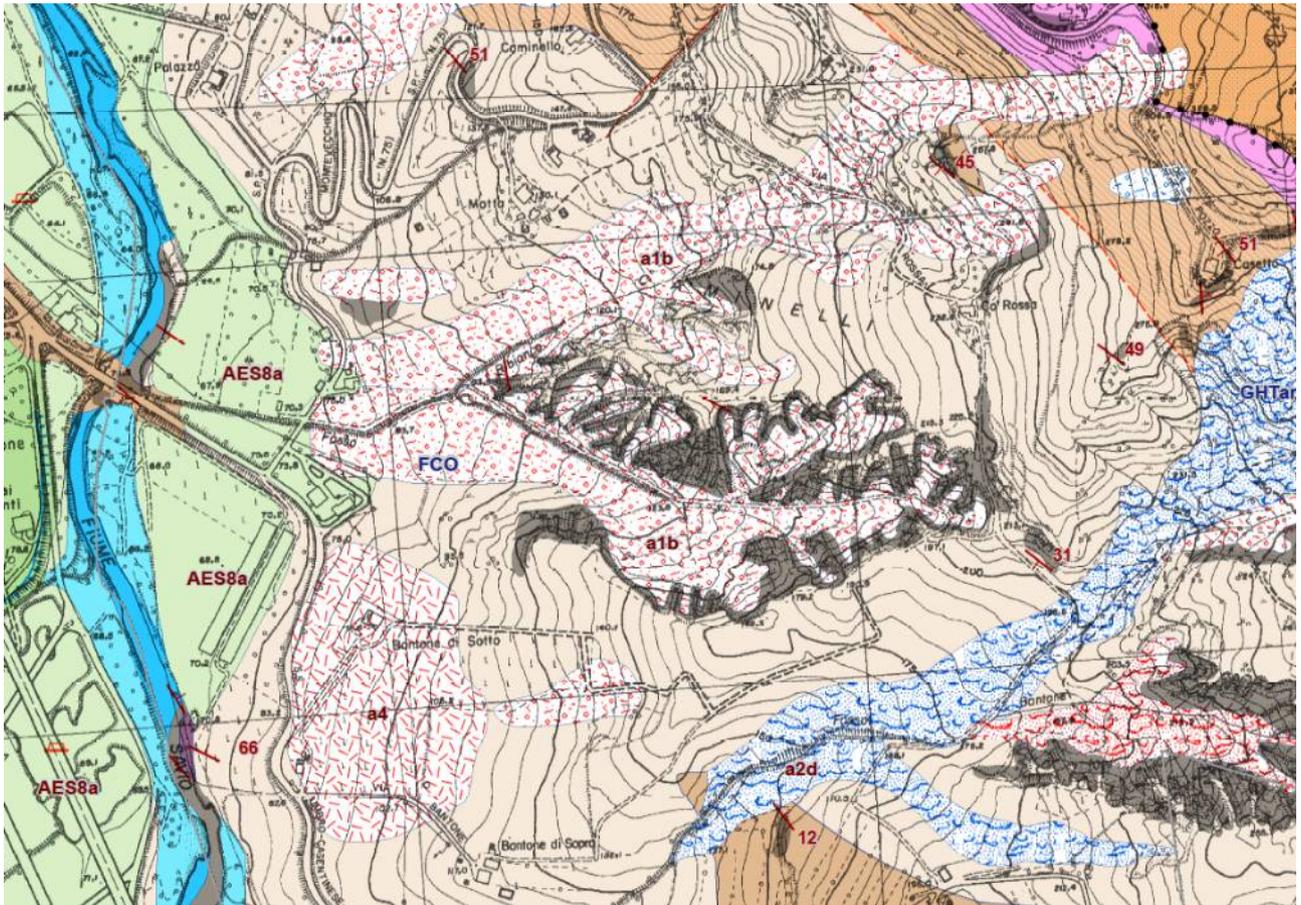
REDATTA DAL GEOLOGO
Andrea Dott. Benini

TAVOLA 1



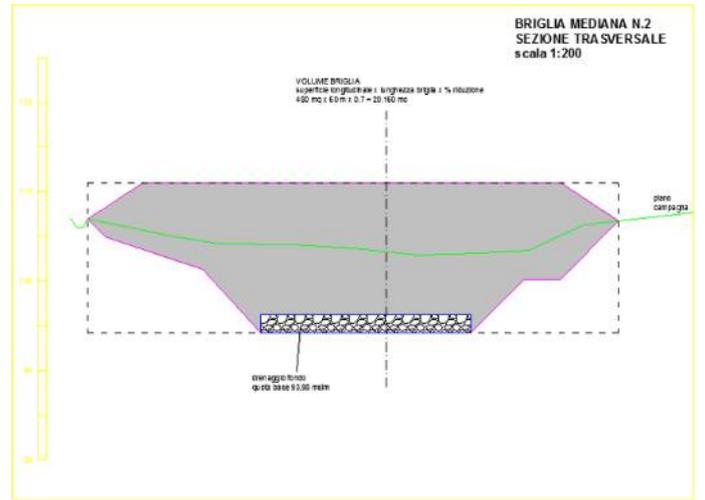
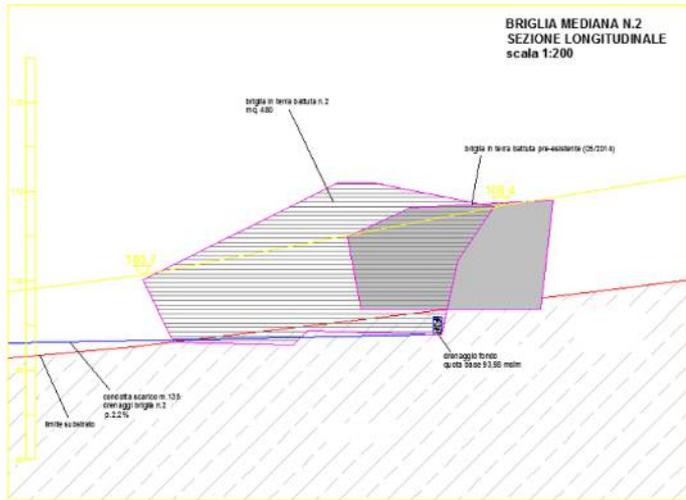
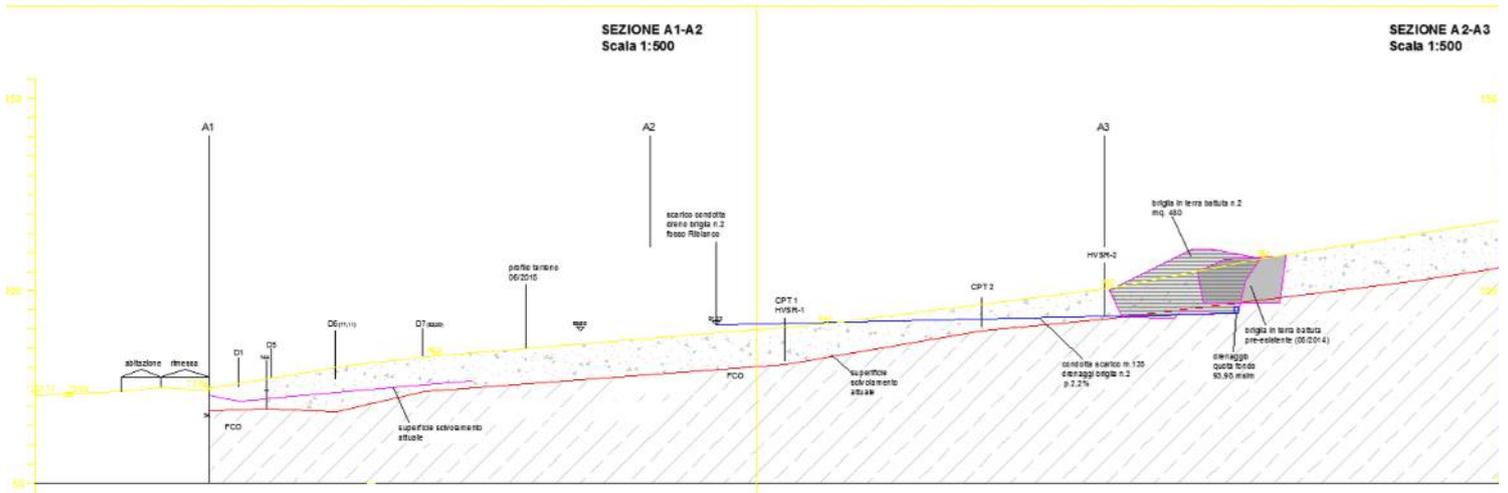
Carta corografica in scala 1:25.000

TAVOLA 2

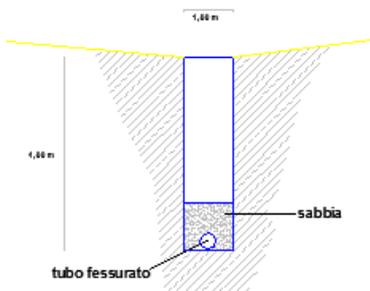


Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:5.000

TAVOLA 3

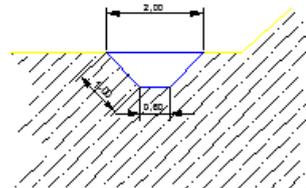


**Drenaggi in trincea
scala 1:100**



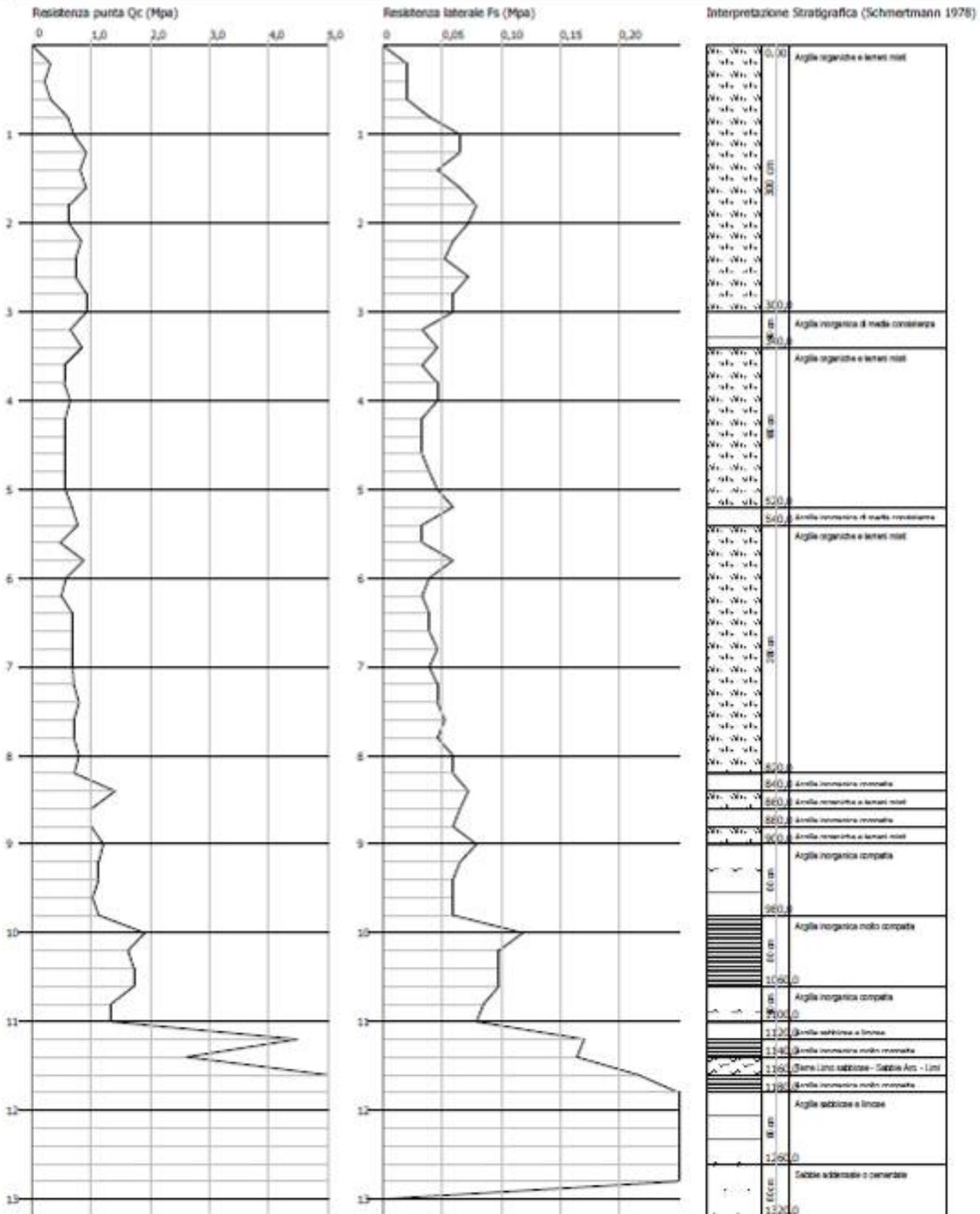
**Sezione tipo fosso superficiale
scala 1:100**

A sez. fosso = 0,70 mq



Sezioni geologiche e particolari (per l'ubicazione delle tracce si veda la Tav. 4)

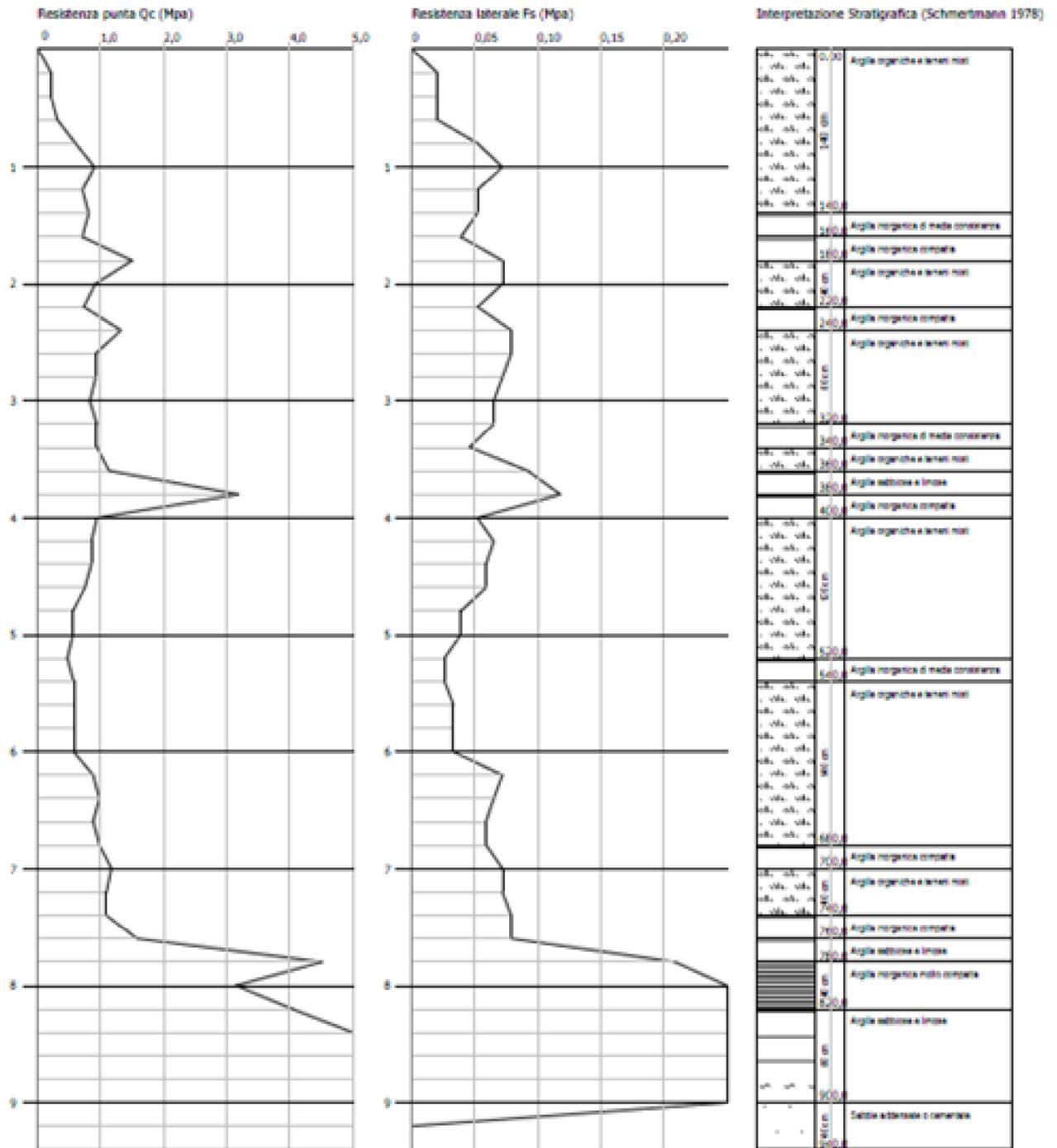
TAVOLA 4



**CPT1 GeoNet
 TAVOLA 5**

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20	C	10,3	11,6	0,9	5,5	4,4	16,3	17,1	--	--	--	167,29
2	0,40	C	7,0	7,7	0,6	4,4	1,0	15,6	16,4	--	--	--	154,82
3	0,60	C	10,3	11,3	0,9	5,5	0,9	16,3	17,1	--	--	--	167,29
4	0,80	C	20,0	22,1	1,8	8,3	1,2	17,4	18,2	--	--	--	190,79
5	1,00	C	23,3	25,7	2,1	9,1	1,1	17,6	18,4	--	--	--	196,73
6	1,20	C	30,3	33,4	2,7	10,7	1,2	18,0	18,8	--	--	--	207,27
7	1,40	C	27,0	29,5	2,4	10,0	0,9	17,8	18,6	--	--	--	202,53
8	1,60	C	30,3	33,2	2,7	10,7	0,8	18,0	18,8	--	--	--	207,27
9	1,80	C	20,7	22,2	1,9	8,5	<0,5	17,4	18,2	--	--	--	192,03
10	2,00	C	20,7	22,0	1,9	8,5	<0,5	17,4	18,1	--	--	--	192,03
11	2,20	C	27,7	29,8	2,5	10,1	0,5	17,9	18,6	--	--	--	203,51
12	2,40	C	24,3	25,9	2,2	9,4	<0,5	17,6	18,4	--	--	--	198,38
13	2,60	C	24,3	25,8	2,2	9,4	<0,5	17,6	18,4	--	--	--	198,38
14	2,80	C	30,7	32,7	2,8	10,8	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	207,72
15	3,00	C	30,7	32,6	2,8	10,8	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	207,72
16	3,20	C	21,3	22,0	1,9	8,6	<0,5	17,4	18,1	--	--	--	193,25
17	3,40	C	28,0	29,3	2,5	10,2	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	204,00
18	3,60	C	18,0	18,0	1,6	7,8	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	186,83
19	3,80	C	18,0	17,8	1,6	7,8	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	186,83
20	4,00	C	21,3	21,5	1,9	8,6	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	193,25
21	4,20	C	18,7	18,3	1,7	8,0	<0,5	17,1	17,8	--	--	--	188,18
22	4,40	C	18,7	18,2	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,18
23	4,60	C	18,7	18,1	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,18
24	4,80	C	18,7	17,9	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,18
25	5,00	C	18,7	17,8	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,18
26	5,20	C	22,3	21,8	2,0	8,9	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	195,02
27	5,40	C	25,7	25,4	2,3	9,7	<0,5	17,6	18,4	--	--	--	200,50
28	5,60	C	15,7	14,1	1,4	7,2	<0,5	16,6	17,4	--	--	--	181,74
29	5,80	C	29,0	28,9	2,6	10,4	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	205,43
30	6,00	C	19,0	17,5	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,85
31	6,20	C	16,3	14,4	1,5	7,3	<0,5	16,7	17,4	--	--	--	183,25
32	6,40	C	22,7	21,4	2,0	9,0	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	195,60
33	6,60	C	22,7	21,3	2,0	9,0	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	195,60
34	6,80	C	22,7	21,2	2,0	9,0	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	195,60
35	7,00	C	22,7	21,0	2,0	9,0	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	195,60
36	7,20	C	23,3	21,6	2,1	9,1	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	196,73
37	7,40	C	26,3	24,9	2,4	9,8	<0,5	17,6	18,3	--	--	--	201,52
38	7,60	C	23,3	21,4	2,1	9,1	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	196,73
39	7,80	C	23,3	21,3	2,1	9,1	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	196,73
40	8,00	C	26,3	24,5	2,4	9,8	<0,5	17,5	18,3	--	--	--	201,52
41	8,20	C	23,7	21,4	2,1	9,2	<0,5	17,3	18,1	--	--	--	197,29
42	8,40	C	46,7	47,1	4,2	13,9	<0,5	18,6	19,4	--	--	--	225,83
43	8,60	C	33,3	32,0	3,0	11,3	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	211,20
44	8,80	C	33,3	31,8	3,0	11,3	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	211,20
45	9,00	C	40,0	39,2	3,6	12,7	<0,5	18,3	19,1	--	--	--	219,00
46	9,20	C	37,3	36,1	3,4	12,2	<0,5	18,2	19,0	--	--	--	216,02
47	9,40	C	37,3	35,9	3,4	12,2	<0,5	18,2	19,0	--	--	--	216,02
48	9,60	C	34,0	32,0	3,1	11,5	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	212,03
49	9,80	C	37,3	35,7	3,4	12,2	<0,5	18,2	18,9	--	--	--	216,02
50	10,00	C	63,3	64,8	5,7	16,8	<0,5	19,1	19,9	--	--	--	239,97
51	10,20	C	54,0	54,1	4,9	15,2	<0,5	18,8	19,6	--	--	--	232,48
52	10,40	C	57,3	57,7	5,2	15,8	<0,5	18,9	19,7	--	--	--	235,27
53	10,60	C	57,3	57,6	5,2	15,8	<0,5	18,9	19,7	--	--	--	235,27
54	10,80	C	44,3	42,8	4,0	13,5	<0,5	18,5	19,2	--	--	--	223,53
55	11,00	C	44,3	42,7	4,0	13,5	<0,5	18,5	19,2	--	--	--	223,53
56	11,20	CI	149,3	160,7	6,7	28,4	5,8	20,6	21,4	33,8	20,8	9,0	342,82
57	11,40	C	87,0	90,4	7,8	20,4	<0,5	19,7	20,5	--	--	--	255,63
58	11,60	CI	234,3	256,0	10,5	37,4	>9	21,4	22,2	46,1	22,8	14,1	381,11
59	11,80	C	237,7	259,6	10,7	37,7	0,8	21,4	22,2	--	--	--	312,22
60	12,00	CI	296,3	325,4	13,3	43,1	>9	21,8	22,6	52,1	23,7	17,8	402,73
61	12,20	CI	388,3	428,8	17,5	50,9	>9	22,3	23,0	59,5	24,9	23,3	429,14
62	12,40	CI	414,3	457,8	18,6	52,9	>9	22,4	23,1	61,1	25,1	24,9	435,73
63	12,60	CI	532,0	590,0	23,9	61,6	>9	22,8	23,6	67,9	26,2	31,9	462,09
64	12,80	I	--	--	34,8	77,5	>9	17,7	20,6	78,3	27,9	46,4	504,66
65	13,00	I	--	--	29,3	69,7	>9	17,7	20,6	73,1	27,0	39,0	484,37
66	13,20	I	--	--	55,4	103,0	>9	0,0	0,0	91,0	29,9	73,9	562,90

**Parametri geotecnici CPT1 GeoNet
TAVOLA 6**



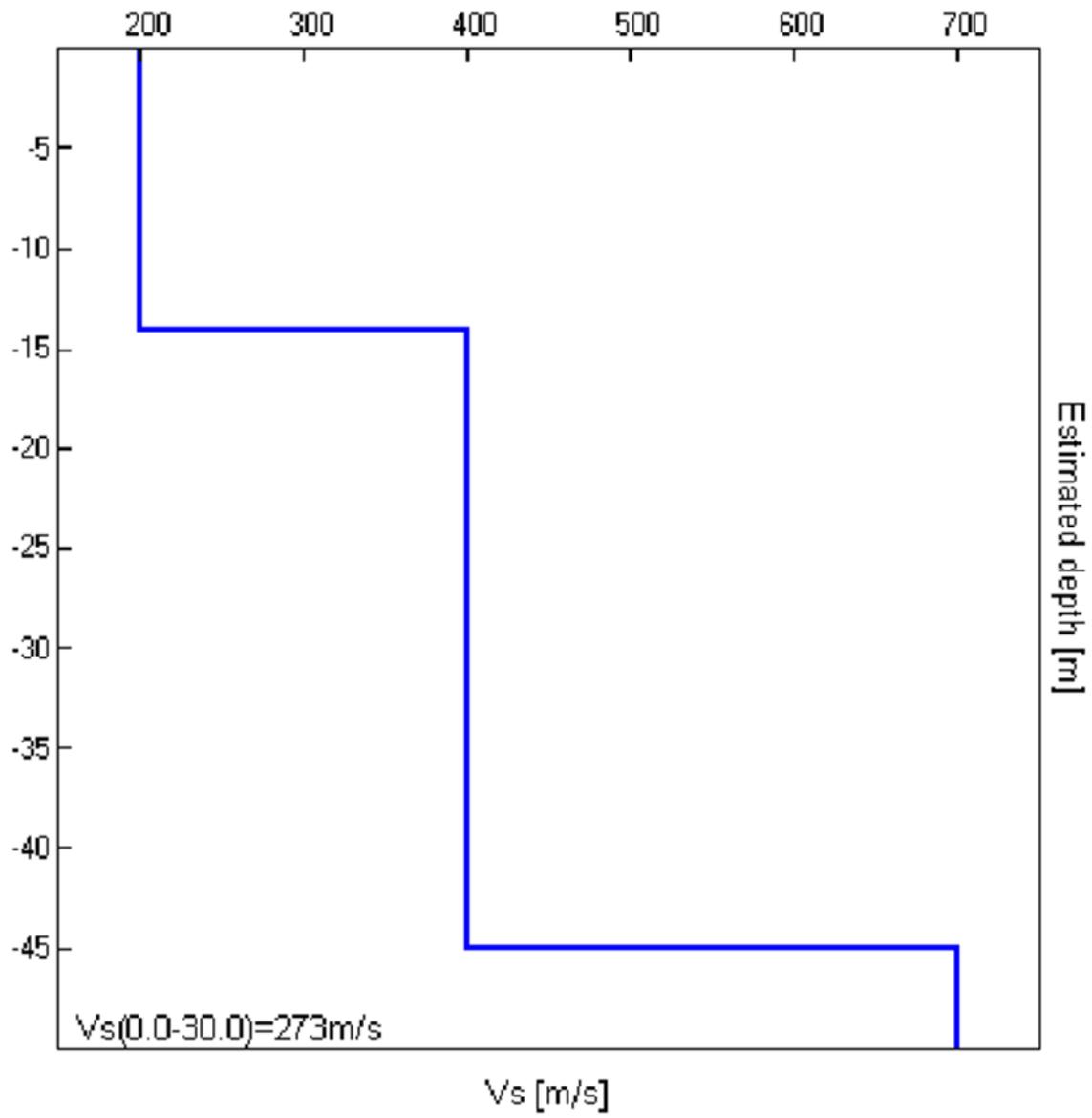
CPT2 GeoNet

TAVOLA 7

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20	C	7,0	7,8	0,6	4,4	3,1	15,7	16,4	--	--	--	154,82
2	0,40	C	7,0	7,7	0,6	4,4	1,0	15,6	16,4	--	--	--	154,82
3	0,60	C	10,3	11,3	0,9	5,5	0,9	16,3	17,1	--	--	--	167,29
4	0,80	C	20,0	22,1	1,8	8,3	1,2	17,4	18,2	--	--	--	190,79
5	1,00	C	30,0	33,2	2,7	10,6	1,4	18,0	18,8	--	--	--	206,82
6	1,20	C	23,7	25,9	2,1	9,2	0,9	17,6	18,4	--	--	--	197,29
7	1,40	C	27,0	29,6	2,4	10,0	0,9	17,8	18,6	--	--	--	202,53
8	1,60	C	23,7	25,7	2,1	9,2	0,7	17,6	18,4	--	--	--	197,29
9	1,80	C	50,0	55,2	4,5	14,5	1,2	18,9	19,7	--	--	--	228,95
10	2,00	C	30,3	32,9	2,7	10,7	0,7	18,0	18,8	--	--	--	207,27
11	2,20	C	24,3	26,0	2,2	9,4	<0,5	17,6	18,4	--	--	--	198,38
12	2,40	C	44,0	48,0	4,0	13,4	0,8	18,6	19,4	--	--	--	223,20
13	2,60	C	30,7	32,9	2,8	10,8	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	207,72
14	2,80	C	30,7	32,7	2,8	10,8	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	207,72
15	3,00	C	27,7	29,2	2,5	10,1	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	203,51
16	3,20	C	31,3	33,2	2,8	10,9	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	208,62
17	3,40	C	31,3	33,1	2,8	10,9	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	208,62
18	3,60	C	37,7	40,1	3,4	12,2	<0,5	18,3	19,1	--	--	--	216,40
19	3,80	CI	106,3	117,2	9,6	23,1	>9	20,1	20,9	39,7	24,4	6,4	316,52
20	4,00	C	31,3	32,7	2,8	10,9	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	208,62
21	4,20	C	28,3	29,1	2,5	10,3	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	204,48
22	4,40	C	28,3	29,0	2,5	10,3	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	204,48
23	4,60	C	25,0	25,1	2,3	9,5	<0,5	17,6	18,4	--	--	--	199,45
24	4,80	C	18,7	17,9	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,18
25	5,00	C	18,7	17,7	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,18
26	5,20	C	15,7	14,2	1,4	7,2	<0,5	16,6	17,4	--	--	--	181,74
27	5,40	C	19,0	17,9	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,85
28	5,60	C	19,0	17,7	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,85
29	5,80	C	19,0	17,6	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,85
30	6,00	C	19,0	17,5	1,7	8,0	<0,5	17,0	17,8	--	--	--	188,85
31	6,20	C	29,3	29,0	2,6	10,5	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	205,90
32	6,40	C	32,7	32,6	2,9	11,2	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	210,35
33	6,60	C	29,3	28,7	2,6	10,5	<0,5	17,8	18,6	--	--	--	205,90
34	6,80	C	32,7	32,3	2,9	11,2	<0,5	18,0	18,8	--	--	--	210,35
35	7,00	C	39,0	39,3	3,5	12,5	<0,5	18,3	19,1	--	--	--	217,90
36	7,20	C	36,3	36,2	3,3	12,0	<0,5	18,2	19,0	--	--	--	214,85
37	7,40	C	36,3	36,0	3,3	12,0	<0,5	18,2	19,0	--	--	--	214,85
38	7,60	C	52,7	54,3	4,7	15,0	<0,5	18,8	19,6	--	--	--	231,33
39	7,80	CI	150,7	164,4	6,8	28,5	>9	20,7	21,5	39,2	22,6	9,0	343,54
40	8,00	C	105,0	112,9	9,4	22,9	0,5	20,1	20,8	--	--	--	265,37
41	8,20	C	134,7	146,1	12,1	26,6	0,7	20,5	21,3	--	--	--	278,85
42	8,40	CI	458,3	510,0	20,6	56,3	>9	22,5	23,3	69,6	27,4	27,5	446,19
43	8,60	CI	334,3	370,4	15,0	46,4	>9	22,0	22,8	60,2	25,8	20,1	414,31
44	8,80	CI	435,7	484,2	19,6	54,6	>9	22,5	23,2	67,3	26,9	26,1	440,90
45	9,00	CI	367,0	406,8	16,5	49,1	>9	22,2	23,0	62,0	26,0	22,0	423,48
46	9,20	I	--	--	20,2	55,6	>9	17,7	20,6	67,4	26,8	26,9	444,04
47	9,40	I	--	--	40,6	85,2	>9	0,0	0,0	86,9	30,0	54,2	523,32

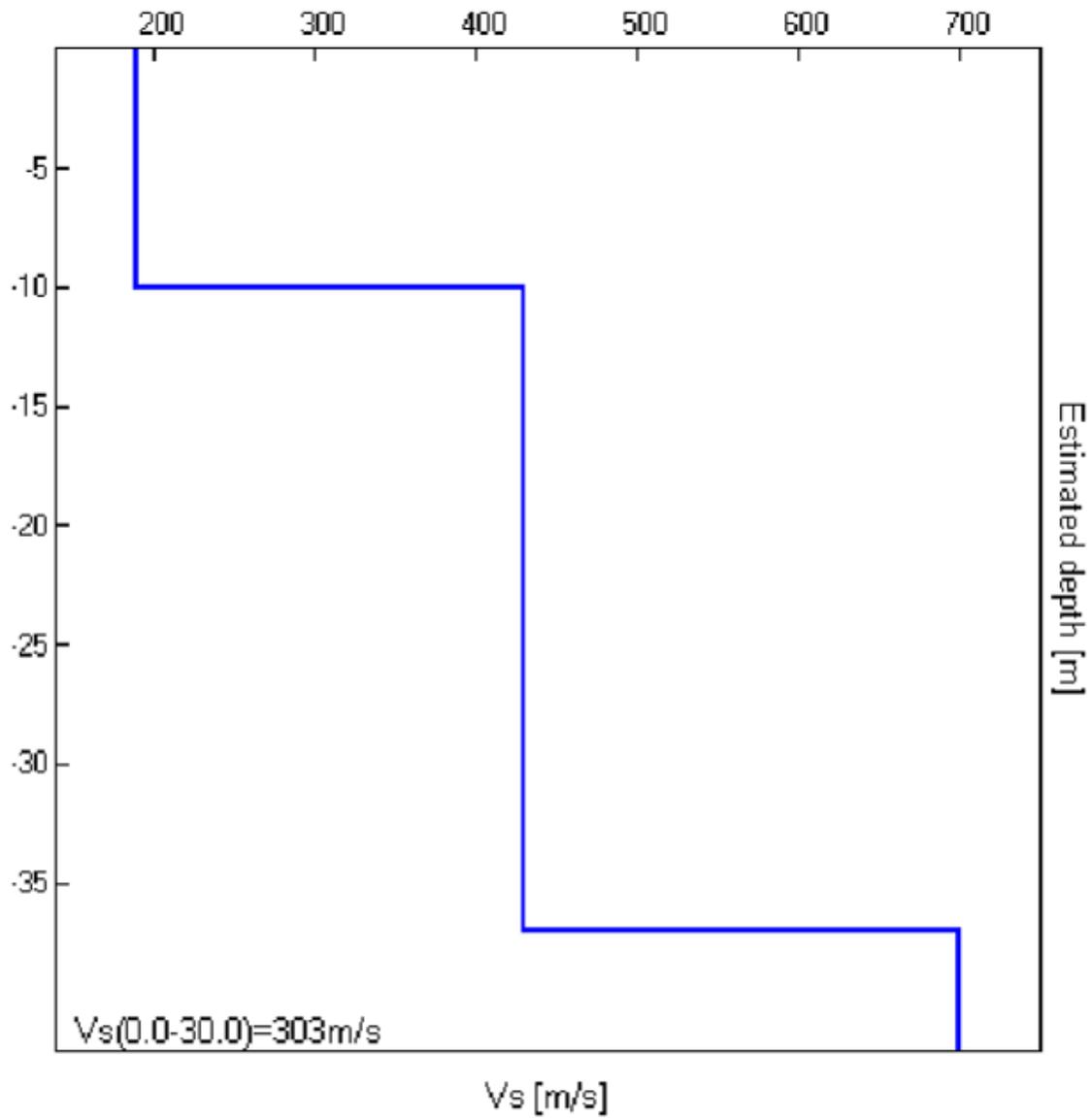
Parametri geotecnici CPT2

TAVOLA 8



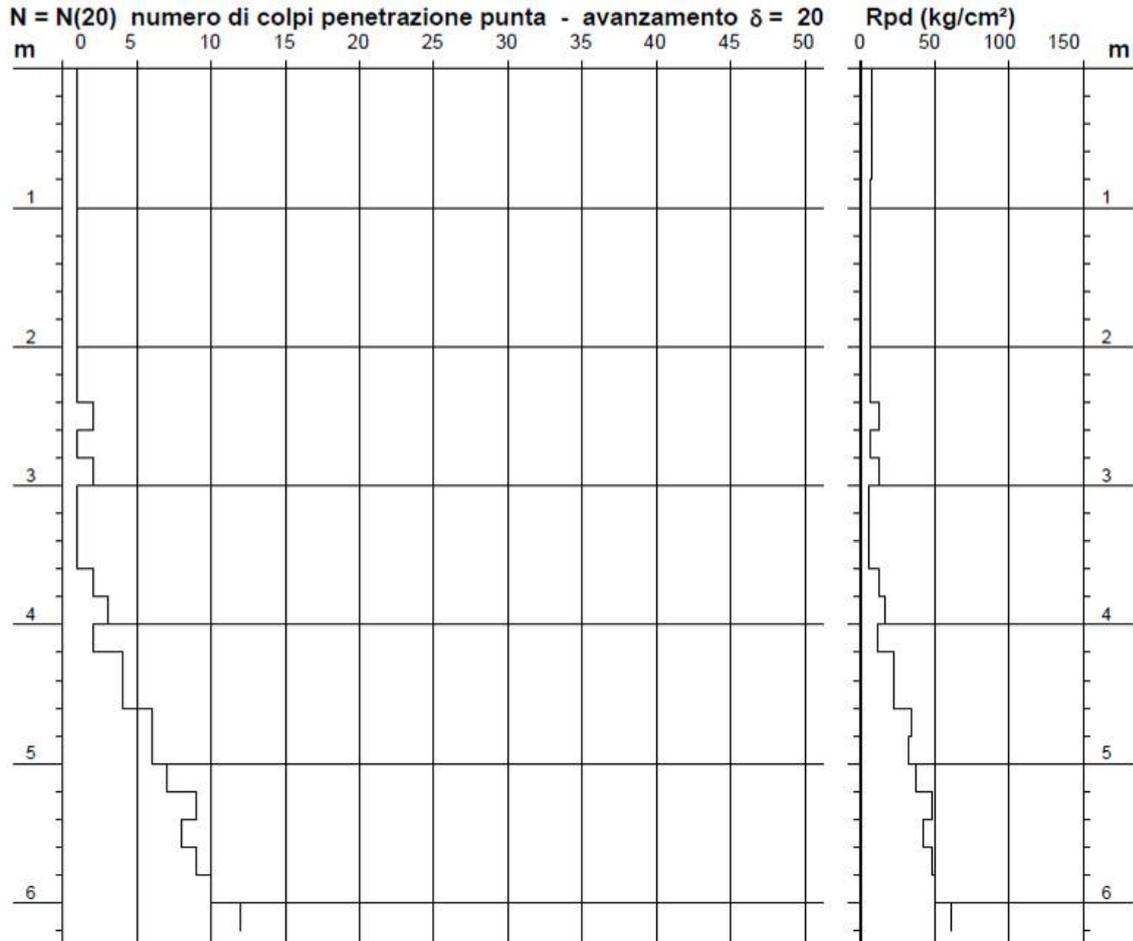
HVSR1

TAVOLA 9



HVS2

TAVOLA 10



n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s			
1	0.00	3.60	N	1.1	1	2	1.1	0.3	0.8	1.4	1	1.52	2
			Rpd	7.4	6	13	6.7	1.9	5.5	9.3			
2	3.60	5.00	N	3.9	2	6	2.9	1.7	2.2	5.5	4	1.52	6
			Rpd	21.7	11	34	16.5	9.0	12.7	30.6			
3	5.00	6.20	N	9.2	7	12	8.1	1.7	7.4	10.9	9	1.52	14
			Rpd	47.9	37	61	42.7	7.8	40.1	55.8			

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

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

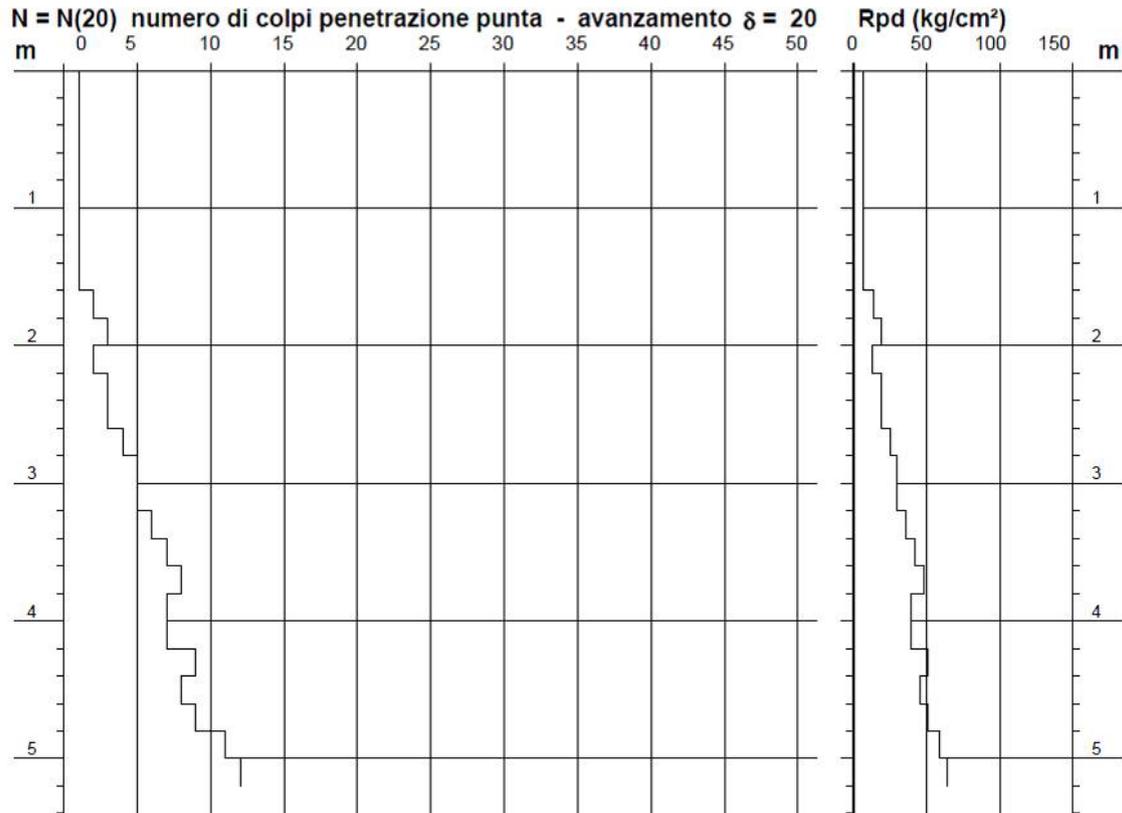
Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE				NATURA COESIVA				
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	3.60		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	3.60	5.00		6	21.7	28.4	238	1.89	1.43	0.38	1.85	37	1.000
3	5.00	6.20		14	41.0	31.2	299	1.96	1.53	0.88	1.95	30	0.795

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

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

TAVOLA 11



n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA								VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\text{min})$	s	M-s	M+s				
1	0.00 1.80	N	1.1	1	2	1.1	0.3	0.8	1.4	1	1.52	2	
		Rpd	7.9	7	14	7.4	2.2	5.7	10.1				
2	1.80 3.40	N	3.9	2	6	2.9	1.4	2.5	5.2	4	1.52	6	
		Rpd	24.1	13	36	18.5	7.7	16.4	31.8				
3	3.40 5.20	N	8.7	7	12	7.8	1.8	6.9	10.5	9	1.52	14	
		Rpd	48.9	40	64	44.3	8.4	40.4	57.3				

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

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

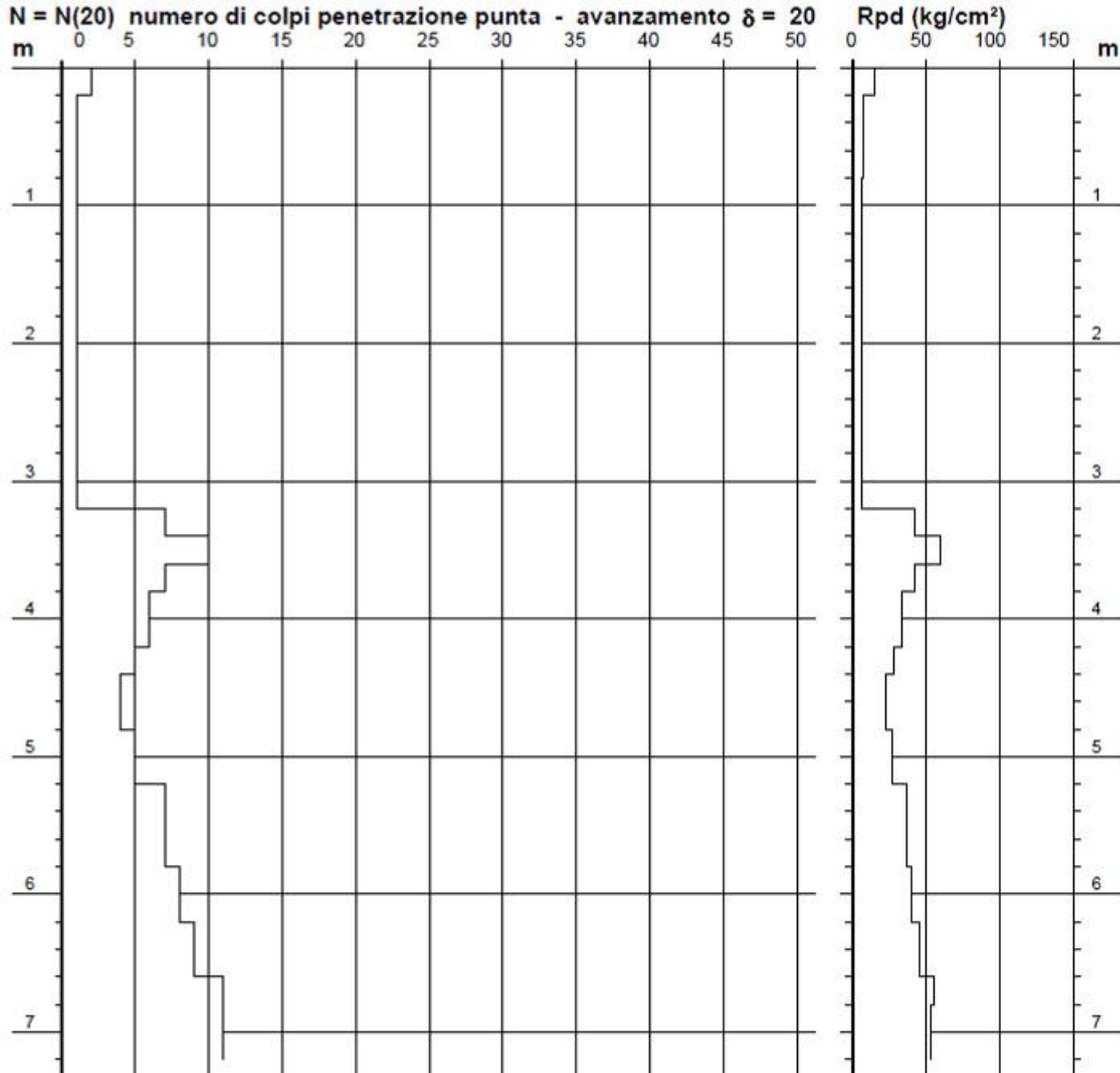
Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 1.80		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	1.80 3.40		6	21.7	28.4	238	1.89	1.43	0.38	1.85	37	1.000
3	3.40 5.20		14	41.0	31.2	299	1.96	1.53	0.88	1.95	30	0.795

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

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

TAVOLA 12



n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA								VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s				
1	0.00 3.20	N	1.1	1	2	1.0	0.3	0.8	1.3	1	1.52	2	
		Rpd	7.2	6	15	6.6	2.1	5.2	9.3	7			
2	3.20 5.20	N	5.9	4	10	5.0	1.8	4.1	7.7	6	1.52	9	
		Rpd	34.0	23	60	28.3	11.6	22.3	45.6	35			
3	5.20 7.20	N	8.8	7	11	7.9	1.7	7.1	10.5	9	1.52	14	
		Rpd	44.5	37	56	41.0	7.1	37.5	51.6	46			

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

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

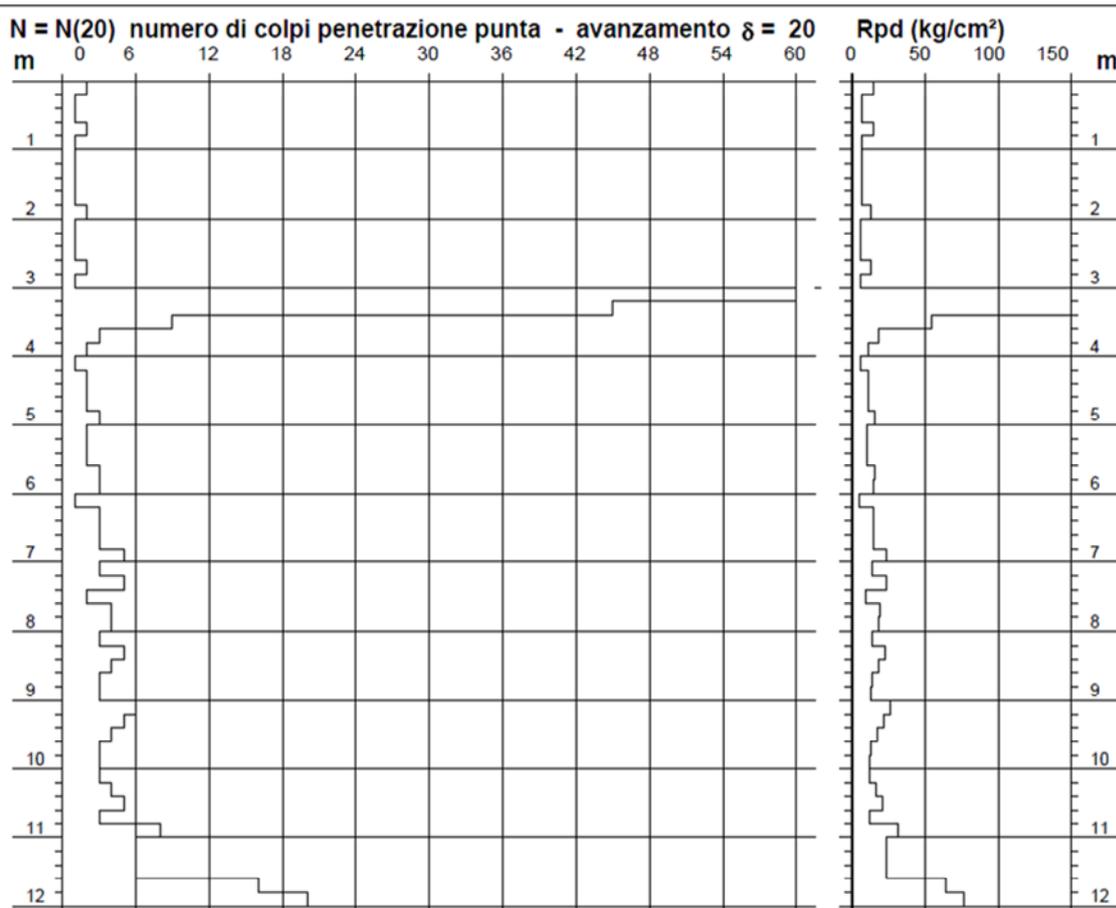
Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 3.20		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	3.20 5.20		9	31.7	29.6	261	1.92	1.48	0.56	1.89	34	0.918
3	5.20 7.20		14	41.0	31.2	299	1.96	1.53	0.88	1.95	30	0.795

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

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

TAVOLA 13



n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\text{min})$	s	M-s				M+s
1	0.00	3.00	N	1.3	1	2	1.1	0.5	0.8	1.7	1	1.52	2
			Rpd	8.7	6	15	7.4	3.3	5.4	12.0	7		
2	3.00	3.60	N	38.7	9	62	23.8	---	---	---	39	1.52	59
			Rpd	232.9	54	374	143.6	---	---	---	235		
3	3.60	10.80	N	3.2	1	6	2.1	1.2	2.0	4.3	3	1.52	5
			Rpd	15.1	5	26	10.1	4.9	10.2	20.0	14		
4	10.80	12.00	N	10.3	6	20	8.2	6.1	4.2	16.5	10	1.52	15
			Rpd	40.7	24	77	32.3	23.4	17.3	64.1	40		

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

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta^t = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

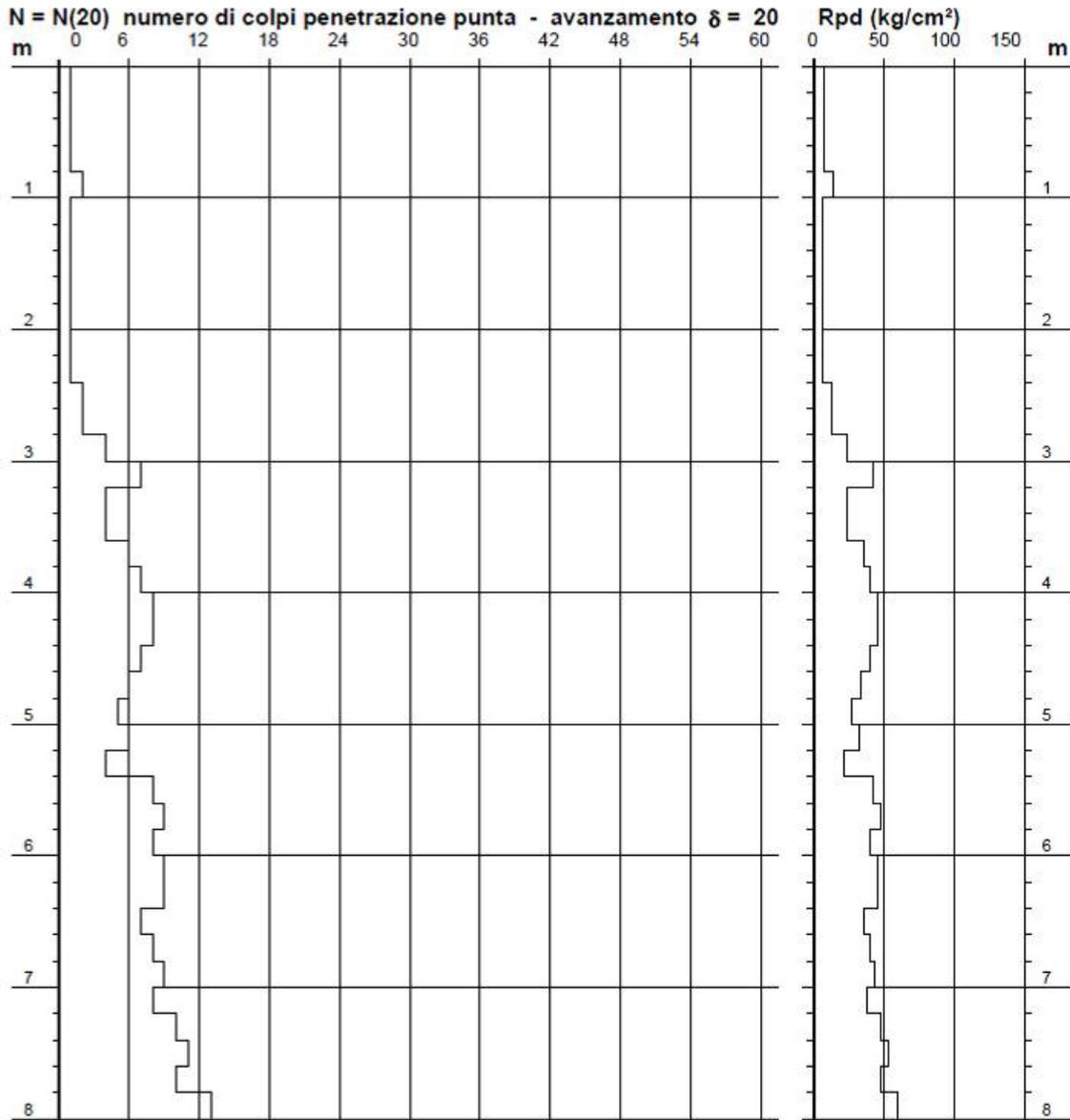
n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE				NATURA COESIVA				
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	3.00		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	3.00	3.60		59	88.4	42.4	646	2.17	1.88	3.69	2.49	05	0.139
3	3.60	10.80		5	18.3	28.0	230	1.88	1.41	0.31	1.83	39	1.061
4	10.80	12.00		15	42.5	31.5	307	1.96	1.54	0.94	1.96	29	0.773

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

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

DIN4bis

TAVOLA 14



n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\text{min})$	s	M-s	M+s			
1	0.00	2.80	N	1.2	1	2	1.1	0.4	0.8	1.6	1	1.52	2
			Rpd	8.3	6	14	7.4	2.7	5.6	11.0			
2	2.80	5.40	N	5.8	4	8	4.9	1.5	4.3	7.4	6	1.52	9
			Rpd	33.4	21	45	27.4	8.6	24.8	42.1			
3	5.40	8.00	N	9.2	7	13	8.1	1.6	7.6	10.7	9	1.52	14
			Rpd	45.2	35	59	40.3	6.3	38.9	51.6			

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

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

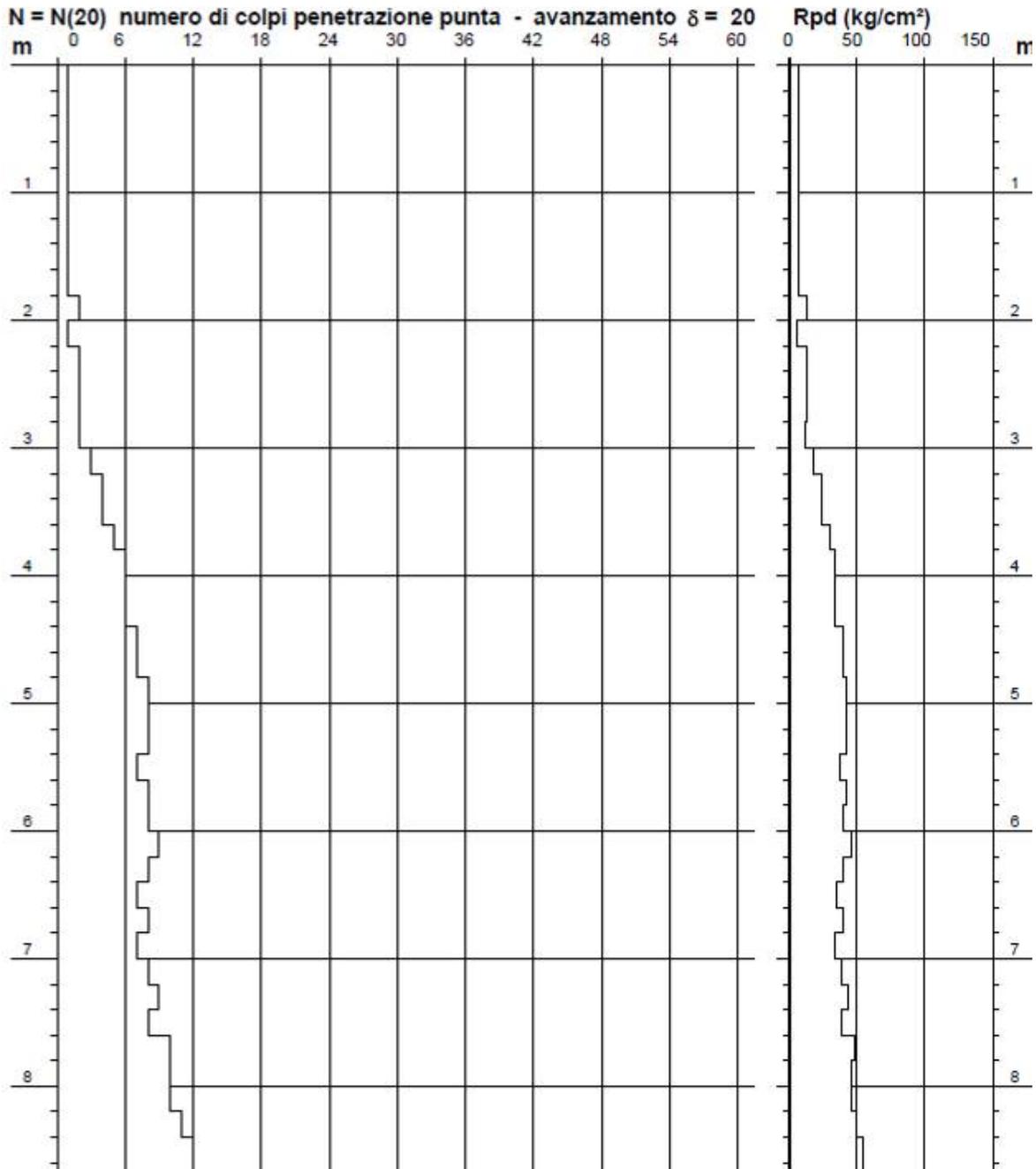
β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE				NATURA COESIVA				
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	2.80		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	2.80	5.40		9	31.7	29.6	261	1.92	1.48	0.56	1.89	34	0.918
3	5.40	8.00		14	41.0	31.2	299	1.96	1.53	0.88	1.95	30	0.795

DIN5

TAVOLA 15



n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA								VCA	β	Nspt
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s				
1	0.00	3.00	N	1.3	1	2	1.2	0.5	0.8	1.8	1	1.52	2	
			Rpd	9.0	6	13	7.7	2.8	6.2	11.7				7
2	3.00	4.40	N	4.9	3	6	3.9	1.2	3.6	6.1	5	1.52	8	
			Rpd	28.3	18	34	23.2	6.3	22.0	34.7				29
3	4.40	9.00	N	8.8	7	12	7.9	1.7	7.1	10.5	9	1.52	14	
			Rpd	43.3	34	55	38.4	5.7	37.5	49.0				44

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

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

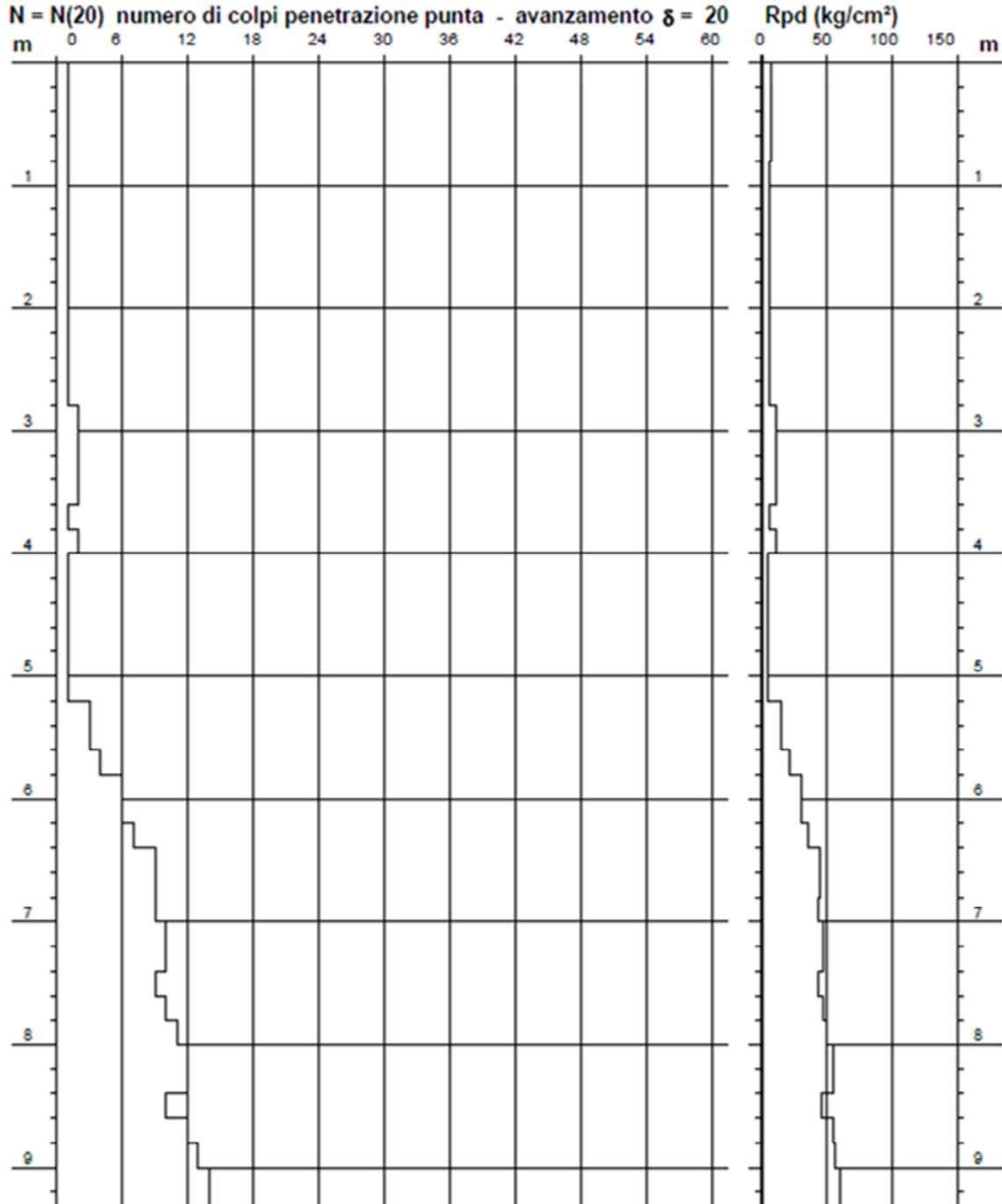
β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta^t = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN6

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	3.00		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	3.00	4.40		8	28.3	29.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
3	4.40	9.00		14	41.0	31.2	299	1.96	1.53	0.88	1.95	30	0.795

TAVOLA 16



n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\text{min})$	s	M-s	M+s			
1	0.00 5.20	N	1.2	1	2	1.1	0.4	0.8	1.6	1	1.52	2
		Rpd	7.5	5	12	6.4	2.3	5.2	9.8	6		
2	5.20 6.40	N	4.8	3	7	3.9	1.7	3.1	6.6	5	1.52	8
		Rpd	24.9	16	35	20.5	8.2	16.7	33.2	26		
3	6.40 9.40	N	10.9	9	14	10.0	1.8	9.1	12.7	11	1.52	17
		Rpd	50.7	43	61	47.0	6.0	44.7	56.7	51		

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

V: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

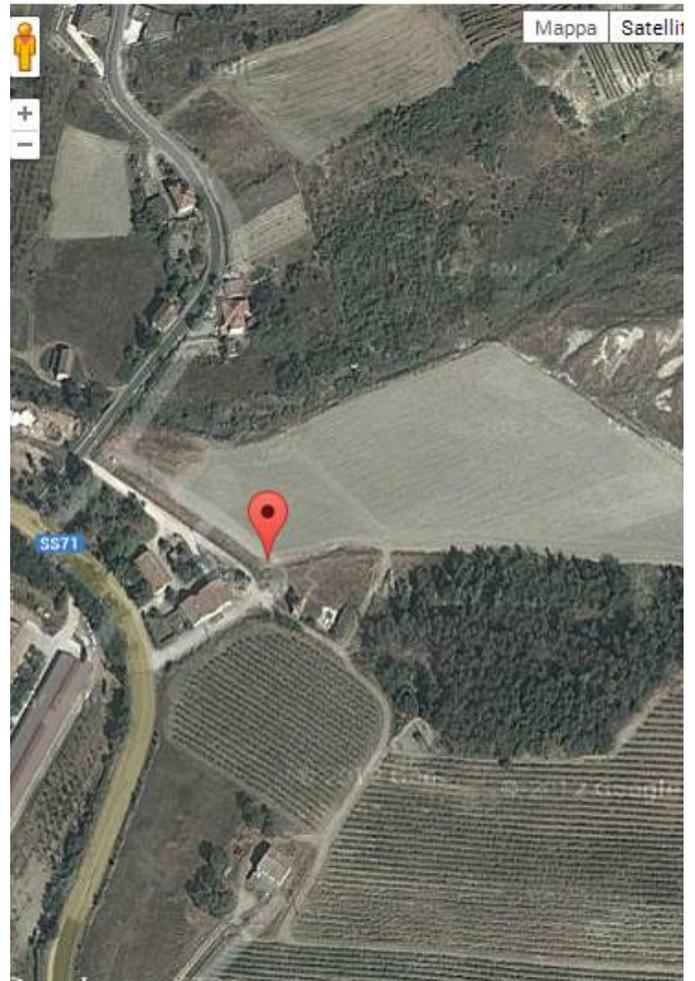
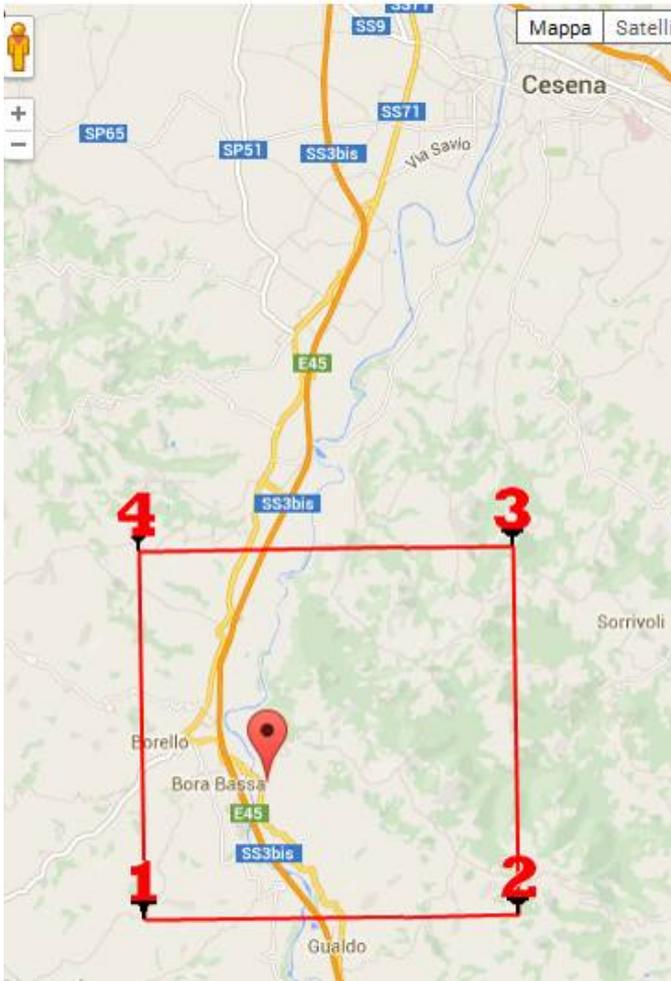
β: Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1.52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN7

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	σ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 5.20		2	7.5	26.8	207	1.85	1.36	0.13	1.75	47	1.267
2	5.20 6.40		8	28.3	29.2	253	1.91	1.46	0.50	1.87	35	0.945
3	6.40 9.40		17	45.5	32.1	322	1.97	1.56	1.06	1.98	27	0.729

TAVOLA 17



Maglie dei vertici reticolo sismico ed ubicazione sito Geostru

TAVOLA 18



Stato attuale briglia mediana (non più esistente a parte le spalle esterne)



Briglia mediana non più esistente da ricostruire drenata a tergo

TAVOLA 19



Stato nicchie alte primavera 2015



Dissesti principali a monte prima dei lavori di consolidamento e/o riprofilatura

TAVOLA 20

Colate e scivolamenti traslativi sulla briglia nella vallecchia occidentale



Fronte della frana ed accumuli di detrito argilloso in emergenza a lato delle abitazioni

TAVOLA 21

Substrato formazionale con pieghe e faglie di ordine metrico evidenziate da sottili livelli arenacei