



- RICERCHE GEOLOGICHE
- TRATTAMENTO DELLE ACQUE
- TECNOLOGIE D'AMBIENTE
- PROTEZIONE DALLA CORROSIONE
- INFORMATICA APPLICATA

ECOGEO S.R.L.

Società Unipersonale

Via F.lli Calvi, 2 - 24122 BERGAMO

Tel. 035/27.11.55 Fax 035/23.98.82

N. R.E.A. BG 345358 - Capitale Sociale: € 30.000,00 i.v.

C.F. Part. IVA e N. Iscriz. R.I. 03051330169

<http://www.ecogeo.net> e-mail: info@ecogeo.net

Posta Elettronica Certificata: ecogeo@pec.ecogeo.net

- LABORATORI D'ANALISI
- SERVIZI D'INGEGNERIA
- ARCHITETTURA & DESIGN
- ENERGIA E SVILUPPO SOSTENIBILE
- SICUREZZA E IGIENE AMBIENTALE

**AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
= ISO 9001 =**

REL.PG/12569/15

aruba.it

ARUBA S.P.A.

Loc. Palazzetto, 4 - 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

RELAZIONE TECNICA

Visto:

ARUBA S.P.A.

(codice cliente n° 1709)

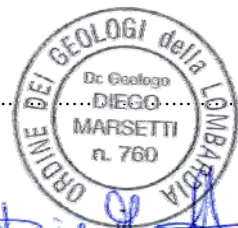
Ecogeo S.r.l.

Dott. Geol. Diego Marsetti

Referenti:

Ph.D. Geofisica Alberto Pagano

Dott. Geol. Etorina Gambirasio



Bergamo, lì 11.11.2015



- RICERCHE GEOLOGICHE
- TRATTAMENTO DELLE ACQUE
- TECNOLOGIE D'AMBIENTE
- PROTEZIONE DALLA CORROSIONE
- INFORMATICA APPLICATA

- LABORATORI D'ANALISI
- SERVIZI D'INGEGNERIA
- ARCHITETTURA & DESIGN
- ENERGIA E SVILUPPO SOSTENIBILE
- SICUREZZA E IGIENE AMBIENTALE

ECOGEO S.R.L.

Società Unipersonale

Via F.lli Calvi, 2 - 24122 BERGAMO

Tel. 035/27.11.55 Fax 035/23.98.82

R.E.A. BG 345358 - Capitale Sociale: € 30.000,00 i.v.

C.F. Part. IVA e N. Iscriz. R.I. 03051330169

<http://www.ecogeo.net> e-mail info@ecogeo.net

REL.PG/12569/15

aruba.it

ARUBA S.P.A.

Loc. Palazzetto, 4 - 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)

RELAZIONE TECNICA

INDICE

1 -	PREMESSA	6
2 -	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	8
3 -	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
4 -	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	13
5 -	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO.....	14
6 -	INQUADRAMENTO CLIMATICO	17
6.1	PLUVIOMETRIA	17
6.1.1 -	Precipitazioni massime nell'ambito giornaliero - calcolo delle precipitazioni intense	18

6.2	TEMPERATURA.....	19
6.3	UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA.....	20
6.4	EVAPORAZIONE ED EVAPOTRASPIRAZIONE	20
6.5	NEBBIA	21
6.6	VENTO	22
7 -	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	24
7.1 -	IDROGRAFIA SUPERFICIALE	24
7.2 -	RETE IRRIGUA ARTIFICIALE	25
8 -	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	27
8.1 -	STRUTTURA IDROGEOLOGICA A SCALA REGIONALE.....	27
8.2 -	IDROGEOLOGIA DI DETTAGLIO.....	30
8.3 -	CARTA PIEZOMETRICA.....	30
9 -	VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI.....	32
10 -	NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE PER LE COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA	34
10.1 -	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	34
10.2 -	I TERREMOTI.....	35
10.3 -	ZONAZIONE SISMICA NAZIONALE ED INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO DI PONTE SAN PIETRO (BG).....	37
10.4 -	AZIONE SISMICA	39
10.5 -	STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO.....	40
10.6 -	VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	42
10.7 -	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CATEGORIE TOPOGRAFICHE	44
10.8 -	VALUTAZIONE PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE PER IL COMUNE DI PONTE SAN PIETRO ...	45
11 -	INDAGINE SISMICA DELL'AREA EX-LEGLER IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)	46
11.1 -	LA PERICOLOSITÀ SISMICA - INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)	46
11.2 -	PARAMETRI DI SITO SPECIFICI - PARAMETRI GEOFISICI DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI	49
11.3 -	METODOLOGIA DI INDAGINE: MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE [ReMi] + ANALISI MULTICANALE DI ONDE DI SUPERFICIE [MASW].....	56
11.3.1 -	Determinazione della curva di dispersione delle onde Rayleigh	58
12 -	INDAGINE GEOELETTRICA DELL'AREA EX LEGLER, PONTE SAN PIETRO (BG).....	60
12.1 -	METODO DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA [R&I.P.].....	60
12.2 -	CONSIDERAZIONI PER IL CASO SPECIFICO	61
12.3 -	RISULTATI EMERSI DALL'INDAGINE.....	62
13 -	INDAGINI GEOTECNICHE.....	76
13.1 -	SCELTA E UBICAZIONE DEI SONDAGGI	76
13.1 -	SONDAGGIO GEOGNOSTICO E CAMPIONAMENTO DELLE CAROTE	76
13.2 -	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT.....	77

13.1 -	PROVE S.P.T. (STANDARD PENETRATION TEST)	79
13.2 -	PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC A CARICO COSTANTE.....	81
13.3 -	ANALISI GRANULOMETRICHE	83
14 -	RISULTATI DELL'INDAGINE.....	84
14.1 -	PORTANZA DEL TERRENO	86
15 -	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE.....	88
15.1 -	VALORI CARATTERISTICI E VALORI DI PROGETTO.....	90
15.2 -	CAPACITÀ PORTANTE IN CONDIZIONI DI STATI LIMITE ULTIMI.....	94
16 -	CONCLUSIONI	95

FIGURE

Figura 1 - Schematizzazione del processo di rottura sul piano di faglia. [da / <i>moti violenti del suolo durante i terremoti</i> , ROVELLI]	35
Figura 2 - Esempio di diversificazione della risposta sismica superficiale sulla superficie generata dall'eterogeneità geologica sub-superficiale. [da / <i>moti violenti del suolo durante i terremoti</i> , ROVELLI]	36
Figura 3 - Pericolosità sismica d'Italia. Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04)	46
Figura 4 - Mappa interattiva di pericolosità sismica, INGV Italia, per il territorio di Ponte San Pietro (BG).....	49
Figura 5 - Area d'indagine. Grafico del profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.	50
Figura 6 - Area d'indagine. Dispersione della velocità di fase delle <i>onde di Rayleigh</i>	51
Figura 7 - Profilo 1. Misura in sito delle onde di taglio orizzontali Vs30 m.....	52
Figura 8 - Area d'indagine. Grafico del profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.	53
Figura 9 - Area d'indagine. Dispersione della velocità di fase delle <i>onde di Rayleigh</i>	54
Figura 10 - Profilo 2. Misura in sito delle onde di taglio orizzontali Vs30 m.....	55
Figura 11 - Potenze spettrali di accelerazione della componente verticale dei microtremiti (a destra) registrate in 75 osservatori sismici distribuiti su tutto il globo terrestre (Peterson, 1993)	56
Figura 12 - Figura B - Modelli standard del rumore sismico ambientale: massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.....	57

Figura 13 - Medie diurne e medie notturne degli spettri di potenza delle componenti verticale (U-D) e orizzontale (E-W) dei microtremiti registrati nel periodo di 15 giorni, dal 19 novembre al 3 dicembre 1997, in due stazioni sismiche [HKD] e [MIS] di Sapporo (da Okada, 2003).	57
Figura 14 - Origine della natura del campo d'onda secondo vari Autori (Sesame WP8, 2004).	58
Figura 15 - Block Diagram. Rappresentazione 3D della distribuzione della resistività elettrica [R]. Sono evidenti le tre unità geofisiche individuate che sono compatibili con le seguenti litologie Unità 1 = depositi superficiali sciolti, Unità 2 = conglomerati, Unità 3 = conglomerati e ghiaie limose sature in acqua di falda.	63

TABELLE

Tabella 1 - Area d'indagine. Profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.	50
Tabella 2 - Area d'indagine Profilo 1. Inquadramento della Categoria di suolo del sito ai sensi D.M.14/01/2008.	51
Tabella 3 - Valutazione analitica del <i>Periodo di risonanza</i> di sito <i>T</i>	52
Tabella 4 - Area d'indagine. Profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.	53
Tabella 5 - Area d'indagine Profilo 2. Inquadramento della Categoria di suolo del sito ai sensi D.M.14/01/2008.	54
Tabella 6 - Profilo 2– Valutazione analitica del <i>Periodo di risonanza</i> di sito <i>T</i>	55
Tabella 7 - Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata.	61

TAVOLE

Tavola 1 – Inquadramento geografico scala 1:25.000.	I
Tavola 2 - Inquadramento geografico scala 1:10.000	II
Tavola 3 - – Inquadramento da foto aerea	III
Tavola 4 - Inquadramento geologico e geomorfologico – Scala 1:10.000.	IV
Tavola 5 - Inquadramento pedologico scala 1:10.000.	V
Tavola 6 - Inquadramento idrogeologico – scala 1:25.000.	VI
Tavola 7 - Sezione idrogeologica	VII
Tavola 8 – Planimetria con ubicazione indagini geotecniche	VIII
Tavola 9 – Stratigrafia sondaggio SA	IX

Tavola 10 – Stratigrafia sondaggio SB	X
Tavola 11 – Planimetria e sezioni indagine geofisica Tomografia Elettrica	XI
Tavola 12 – Diagramma prova penetrometrica P1	XII
Tavola 13 – Diagramma prova penetrometrica P2	XIII
Tavola 14 – Diagramma prova penetrometrica P3	XIV
Tavola 15 – Diagramma prova penetrometrica P4	XV
Tavola 16 – Diagramma prova penetrometrica P5	XVI
Tavola 17 – Prove di permeabilità Lefranc a carico costante	XVII
Tavola 18 – Risultati analisi granulometriche	XVIII

APPENDICI

Appendice 1 – Calcolo Qamm secondo Meyerhof	XIX
Appendice 2 – Stima della pericolosità sismica	XX
Appendice 3 – Verifiche di capacità portante in condizioni limite	XXIII
Appendice 4 – Documentazione fotografica	XXIV

1 - PREMESSA

A seguito dell'incarico affidato dalla **Ditta ARUBA S.p.A.** con sede legale in Loc. Palazzetto, 4 a Bibbiena (AR), allo studio ECOGEO SRL, è stato effettuato uno studio geologico, geotecnico e sismico esteso ad un settore dell'area industriale dismessa ex-LEGLER S.p.A. ubicata in Via San Clemente, 57 in territorio comunale di Ponte S. Pietro (BG), di proprietà della committente.

La presente relazione illustra i risultati emersi dall'indagine geotecnica, geologica e sismica realizzata nell'area di proprietà della suddetta Ditta in territorio comunale di Ponte S. Pietro (BG).

Lo scopo dell'indagine è stato quello di caratterizzare l'area dal punto di vista geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico, con particolare attenzione ai parametri geotecnici dei terreni attraversati dalle indagini penetrometriche, sondaggi geognostici e prove di permeabilità. Tale indagine ha inoltre il fine di valutare la capacità disperdente e la permeabilità degli orizzonti superficiali, il monitoraggio della falda, la valutazione sismica dei terreni ai sensi della normativa vigente.

Il piano di ricerca è consistito nelle seguenti fasi:

1. raccolta delle notizie di base disponibili (dati litostratigrafici, idrogeologici e strutturali, elementi idrologici, ecc.);
2. ubicazione dei punti di realizzazione delle indagini dirette (indagini geofisiche, prove penetrometriche e sondaggi geognostici);
3. misurazione in sito della resistenza;
4. effettuazione di n. 30 campionamenti dei terreni con escavatore meccanico;
5. misurazione del livello della falda;
6. esecuzione n° 5 prove penetrometriche dinamiche SCPT;
7. esecuzione di n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla massima profondità di 10,00 m da p.c;
8. esecuzione di n° 2 prove di permeabilità Lefranc a carico costante in foro di sondaggio;
9. esecuzione di n. 2 analisi granulometriche di laboratorio.

Le indagini geognostiche sono state eseguite in conformità a quanto previsto dal D.M. 11.03.1988, dall' Art. 27 del D.P.R. 21.12.1999 n° 554 "Regolamento di attuazione della Legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n° 109,

e successive modificazioni", dal D.M. 14 gennaio 2008 "Testo Unico - Norme Tecniche per le costruzioni" e s.m.i..

Per la stesura della presente relazione sono state considerate anche ricerche svolte dallo scrivente negli anni passati su aree limitrofe a quella in oggetto.

Inoltre si è fatto riferimento a:

- REL. PG/3892/03 "Indagine geotecnica e geologica presso l'area dei costruendi nuovi uffici della ditta Legler s.p.a. in territorio comunale di Ponte S. Pietro (BG)" datata 19.03.2003 e redatta da Ecogeo di Marsetti Dott. Diego.

Per quanto concerne invece i dati sulla pluviometria ci si è riferiti alla carta delle precipitazioni annue del territorio lombardo a cura del Servizio Geologico e Riassetto del Territorio della Regione Lombardia.

Le indagini sismiche sono state eseguite in data 28.10.2015.

Le prove penetrometriche dinamiche SCPT sono state eseguite il giorno 29.10.2015.

I sondaggi geognostici a carotaggio continuo e le prove di permeabilità a carico costante sono state condotte nei giorni 04.11.2015 e 05.11.2015.

I campionamenti terreni con escavatore meccanico sono stati condotti nei giorni 02.11.2015 e 03.11.2015.

Si fa presente, infine, che il professionista incaricato conserva i diritti d'autore sul lavoro presentato, elaborati cartografici compresi e che la committenza può utilizzare gli stessi una sola volta e soltanto per lo specifico fine per il quale essi sono stati eseguiti.

2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio del Comune di Ponte S. Pietro, in provincia di Bergamo è situato nell'Alta Pianura Centrale Bergamasca, 7 Km a ovest di Bergamo e si estende su di una superficie complessiva di 459 ha.

Nell'ambito del territorio comunale si possono individuare due nuclei, uno costituito dall'abitato vero e proprio e il secondo costituito dalla zona industriale; oltre a questi due nuclei sono presenti insediamenti sparsi per lo più costituiti da aziende agricole. Il territorio del Comune di Ponte S. Pietro è attraversato dalla S.S. Briantea n° 342, dalle S.P. n° 155 e n° 154.

Più in dettaglio il territorio di Ponte San Pietro si estende su una superficie piana leggermente inclinata verso sud, ed è interessato dal passaggio del Fiume Brembo e dal Torrente Quisa.

Dal punto di vista amministrativo il territorio di Ponte San Pietro confina, partendo da nord, in senso orario, con i comuni di: Brembate Sopra, Valbrembo, Mozzo, Curno, Presezzo e Mapello.

In particolare lo stabilimento della Ditta ARUBA S.p.A., oggetto di tale indagine, è situato a N del centro abitato di Ponte S. Pietro e appena a S della frazione Briolo, e dista circa 200 metri dal Fiume Brembo.

L'area è rappresentata sulla cartografia dell'I.G.M. a scala 1:25.000 Tavolette F° 33 III S.E. "Bergamo", sulla Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 Sez. C5a2 "Ponte S. Pietro" e sull'inquadrimento da foto aerea ([ved. Tavole 1, 2 e 3](#)).

3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La situazione geologica dell'area presa in esame è facilmente evincibile dall'allegata carta geologica¹ scala 1:50.000 della "Carta Geologica della Provincia di Bergamo" (*ved. Tavola 4*).

Complessivamente l'area considerata è interessata da materiali di origine fluvio-glaciale e alluvionale.

Tali successioni continentali di età quaternaria, mostrano un'elevata variabilità interna di facies, espressione di fasi di sedimentazione discontinue. Ciò rende impraticabile una distinzione su base litologica: per la redazione della nuova Carta Geologica della Provincia di Bergamo, utilizzata in questo lavoro come base bibliografica, i corpi sedimentari continentali di età quaternaria sono stati distinti in base a criteri allostratigrafici. Un'unità allostratigrafica corrisponde ad un corpo di rocce sedimentarie identificato sulla base delle discontinuità che lo delimitano; essa comprende pertanto i sedimenti appartenenti ad un determinato evento deposizionale. I limiti fra le diverse unità sono rappresentati da superfici di discontinuità. Quando invece un corpo geologico poteva essere identificato in base alle sue caratteristiche interne, è stato utilizzato per il rilevamento, il criterio litostratigrafico classico.

I depositi alluvionali appartenenti all'Unità Post-glaciale (Pleistocene Superiore – Olocene) formano corpi terrazzati incastrati entro i depositi più antichi e si rileva in corrispondenza dei maggiori corsi d'acqua. Si possono distinguere in carta due litologie appartenenti a tali depositi: i "depositi alluvionali" s.s. si rilevano lungo l'alveo del Fiume Brembo (119 c, cg e cf).

Tali depositi sono costituiti da ghiaie, sabbie, limi sabbiosi e limi organici; la loro origine è dovuta all'escavazione ed al trasporto ad opera dei corsi d'acqua; depositi più limoso-argillosi sono frequenti in corrispondenza delle depressioni più antiche, a segnare la presenza, in tempi passati, di rami fluviali o di lanche abbandonate dalla corrente e progressivamente interratesi (paleoalvei). Sempre restando all'interno di queste unità è da rilevare il fatto che spostandosi verso Sud si ha una tendenza al prevalere delle litologie più fini.

E' da notare che, lungo l'alveo del Fiume Brembo da Filago a Brembate, affiorano i depositi alluvionali appartenenti al "Ceppo del Brembo" (70) la cui litologia è

¹ Da "Carta Geologica della Provincia di Bergamo" a cura di: Servizio Territorio della Provincia di Bergamo – Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Milano – Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria del CNR (2000).

rappresentata da conglomerati grossolani a forte cementazione ed a supporto clastico.

In contatto con i depositi alluvionali del Fiume Brembo (119c, cf e cg e 70) si rilevano i “depositi fluvioglaciali” pleistocenici rappresentati da: “Complesso del Brembo” (80), “Unità di Brembate” (78) e “Unità di Carvico” (65). La loro deposizione è riferita ai corsi d'acqua che, in epoca glaciale e post-glaciale, percorrevano le antiche piane alluvionali allo sbocco dei solchi vallivi, di cui rimane testimonianza nelle ampie superfici pianeggianti, disposte su diverse quote e di diverse età, che iniziano ai piedi dei rilievi collinari di Bergamo e di Albano e digradano dolcemente verso Sud.

La loro costituzione è data in prevalenza da litotipi tipo sabbie e ghiaie grossolane a matrice limosa, poligeniche, talvolta a dare dei depositi terrazzati, con un ridotto strato di alterazione bruno-ocraceo.

Non sempre è facile distinguere il passaggio fra i depositi alluvionali e i depositi fluvioglaciali; talora esso è evidenziato da una più o meno netta scarpata morfologica, più spesso il limite tra i due depositi è incerto e il passaggio tra le diverse litologie solo molto sfumato.

In particolare le unità litostratigrafiche e allostratigrafiche dei depositi superficiali rappresentate nello stralcio della Carta Geologica 1:50.000 della Provincia di Bergamo sono le seguenti, dalla più recente alla più antica:

UNITA' UBIQUITARIE:

- **UNITA' POSTGLACIALE (119) (PLEISTOCENE SUPERIORE – OLOCENE)**

- (119 c) Depositi alluvionali***

- (119 cf) Depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Entisuoli***

- (119 cg) Depositi alluvionali in pianura con superficie limite superiore caratterizzata da Inceptisuoli***

- Ghiaie da fini a grossolane con matrice sabbiosa, a supporto clastico, in prevalenti strati planari; sabbie e limi da massivi a laminati; argille.

- I sedimenti fluviali del Fiume Brembo presentano variabilità sia per quanto riguarda i caratteri tessiturali sia relativamente ai suoli evoluti sulla superficie limite superiore. La quasi completa mancanza di orli morfologici, la scarsità di dati e la notevole variabilità delle situazioni hanno reso difficile ulteriori differenziazioni per l'area del F. Brembo. L'area è stata cartografata genericamente come Unità Postglaciale, differenziando solo le aree immediatamente a lato dell'alveo attuale separate dal resto dell'unità da orli di terrazzo e ben caratterizzate pedologicamente (Entisuoli ed Inceptisuoli).

- **COMPLESSO DI PALAZZAGO (117) (*PLEISTOCENE MEDIO – SUPERIORE*)**

Depositi di versante, di frana, alluvionali, lacustri, di conoide e colluviali.

Ghiaie a ciottoli e blocchi eterometrici da spigolosi ad arrotondati, matrice sabbiosa e supporto in prevalenza clastico; è presente una grossolana stratificazione, talvolta obliqua, con gradazione normale. Sabbie in corpi lenticolari a laminazione obliqua a basso angolo ed incrociata con rari ciottoli centimetrici. Clasti carbonatici e terrigeni delle formazioni locali, matrice derivante dal rimaneggiamento di suoli preesistenti. Pedogenesi variabile. Morfologie in erosione.

BACINO DEL BREMBO

- **COMPLESSO DEL BREMBO (80) (*PLEISTOCENE SUPERIORE*)**

Depositi fluvioglaciali, glaciali ed alluvionali

Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa; ciottoli arrotondati prevalentemente discoidali, con dimensioni medie variabili tra 2 e 10 cm, e dimensioni massime di 45 cm. E' presente una grossolana stratificazione. Nelle sequenze sommitali delle parti più meridionali dell'unità si osservano ghiaie sabbiose, a supporto di matrice, stratificate, oppure strati e lenti sabbiose a laminazione interna, oppure ancora gradazione diretta da ghiaia a limi. Sulle sequenze ghiaiose sono presenti anche spessori decimetrici di limi a raro scheletro diffuso, in situazione di troncatura erosionale; poiché ad essi non è associabile alcuna morfologia particolare, sono interpretati come limi di esondazione. Localmente compare una debole cementazione, che può interessare spessori metrici di ghiaie.

Superficie limite superiore caratterizzata da Alfisuoli con spessore massimo di 1.6 m. Copertura loessica assente.

- **UNITA' DI BREMBATE (78) (*PLEISTOCENE MEDIO*)**

Depositi fluvioglaciali ed alluvionali

Ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice limoso-argillosa; i ciottoli, di dimensioni medie attorno a 10 cm, sono arrotondati, con forme discoidali ed ellissoidali. Si osservano accenni di stratificazione suborizzontale. La superficie superiore delle ghiaie, fortemente ondulata a scala metrica e quindi erosionale, è suturata da limi argillosi massivi con spessori da 0.5 a 2.5 m.

Dal punto di vista petrografico è da sottolineare la comune assenza di carbonati; abbondano i litotipi brembani tipici, quali le arenarie del Verrucano, vulcaniti e vulcanoclastiti della formazione del Collio; in quantità minore sono presenti elementi del basamento cristallino sudalpino.

Superficie limite superiore caratterizzata da suoli di spessore maggiore di 5 m; copertura loessica sempre presente.

- **CEPPO DEL BREMBO (70) (*PLEISTOCENE SUPERIORE ?-PLEISTOCENE INFERIORE*)**

Depositi alluvionali

Conglomerati a prevalente supporto clastico e conglomerati arenacei al limite tra supporto clastico e di matrice, con ciottoli arrotondati e subarrotondati. Presentano caratteri estremamente grossolani nella parte più settentrionale, con dimensioni medie dei ciottoli di 25-30 cm e massime superiori al metro; spostandosi verso sud si assiste ad una riduzione del diametro medio a valori attorno ai 10 cm e, negli affioramenti più meridionali, di 2-3 cm. Compagiono con una certa frequenza lenti e strati arenacei decimetrici, a prevalente stratificazione incrociata planare. Nelle parti basali si rinvencono lenti siltose e siltoso argillose di spessore e lunghezza metrica, contenenti gusci di molluschi continentali.

BACINO DELL'ADDA

- **UNITA' DI CARVICO (65) (*PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE?*)**

Depositi glaciali e fluvioglaciali

Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa; ciottoli da arrotondati a subspigolosi con diametri medi tra 4 e 15 cm. Si presentano rozzamente stratificate. Carattere costante risulta, particolarmente nell'area in riva destra del Fiume Brembo, la presenza di sequenze sommitali limose che annegano rapidamente (senza termini granulometrici intermedi) le ghiaie sottostanti. Da un punto di vista petrografico le ghiaie sono costituite prevalentemente da rocce endogeno-metamorfiche, terrigene e carbonatiche.

I suoli sviluppati alla sommità dell'Unità di Carvico mostrano una differenziazione areale. I depositi in riva destra del Fiume Brembo recano alla sommità Alfisuoli con caratteristiche estremamente omogenee in tutta l'area di affioramento: debole rubefazione, elevati spessori dell'orizzonte Bt e profondità dell'orizzonte C compresa tra 2 e 2.5 m. Si riscontra una matrice molto argillificata ed una marcata alterazione dello scheletro.

Superficie limite superiore caratterizzata da morfologia ben conservata; copertura loessica discontinua.

L'area oggetto della presente indagine e di proprietà della Ditta ARUBA S.p.A. si imposta sulle litologie del Complesso del Brembo (80) caratterizzato da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbioso-limosa e del Ceppo del Brembo (70) caratterizzato da conglomerati a prevalente supporto clastico.

4 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Gli aspetti geomorfologici dell'area compresa nella tavola allegata ([ved. Tavola 4](#)), sono in genere connessi all'azione, passata ed attuale, dei principali corsi d'acqua che, oltre ad aver formato l'ampia pianura, l'hanno poi erosa e scavata in varia misura.

Il risultato dell'azione fluviale, esplicitasi soprattutto a partire dalla fine delle grandi glaciazioni quaternarie, è stato la formazione di alvei fluviali e di piane alluvionali più o meno depresse rispetto al livello della pianura, alla quale passano mediante scarpate morfologiche in genere singole e dall'andamento lineare e poco complesso. Tale fiume, come anche il Fiume Adda, ha inciso i depositi quaternari della pianura, creando una scarpata morfologica che, per quanto riguarda il Fiume Adda, raggiunge una profondità di oltre 40.00 metri.

Come conseguenza il territorio circostante corrisponde ad un terrazzo sopraelevato rispetto all'alveo dei fiumi, corrispondente al "Livello Fondamentale della Pianura".

I terreni che costituiscono la pianura, che è pressoché pianeggiante con una debole pendenza verso sud, sono ghiaie poligeniche con clasti soprattutto di rocce cristalline e metamorfiche (graniti, granodioriti, dioriti, gneiss, micascisti, ecc.) e subordinatamente di rocce sedimentarie (calcari, arenarie, dolomie) con diametri massimi dell'ordine di 15 cm.

5 - INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico l'area oggetto di studio si colloca sul terrazzo fluvioglaciale recente o livello fondamentale della pianura (L.F.d.P.), ubicato prevalentemente nell'isola bergamasca, a morfologia pianeggiante e delimitato da ripide scarpate boscate. La coltre pedologica è caratterizzata da ghiaie e ciottoli poco alterati di origine fluvioglaciale comunemente presenti in superficie, intensamente coltivata a seminativo, con rari cedui di latifoglie, fortemente urbanizzata e industrializzata.

Più precisamente la coltre pedologica si inquadra all'interno della porzione centrale del livello fondamentale della pianura.

Dal punto di vista prettamente pedologico, secondo quanto indicato dalla carta dei "Suoli dell'Isola Bergamasca" redatta dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (E.R.S.A.L.) nell'ambito del Progetto "Carta Pedologica" (*ved. Tav. 5*) nell'area oggetto di studio sono stati individuati le seguenti unità pedologiche:

- **UNITA' BON1-BRE1**

Gruppo indifferenziato di Typic e Mollic HAPLUDALFS

Grossa unità costituita dalla coalescenza di depositi fluvioglaciali provenienti dai bacini dell'Adda e del Brembo. La superficie ha una morfologia pianeggiante o lievemente ondulata; la pietrosità superficiale è da comune ad elevata con predominanza di pietre piccole e scarse pietre medie. Il substrato ghiaioso-ciottoloso sciolto ha una composizione variabile in funzione della zona, anche se prevalentemente costituito da rocce terrigene, metamorfiche, granitoidi e carbonatiche; la matrice tra i ciottoli ha una tessitura sabbiosa o sabbioso-franca.

L'unità è un gruppo indifferenziato composto in prevalenza da Hapludalfs tipici franco-fini (BON) e da suoli simili caratterizzati da un orizzonte arato più scuro classificati come Hapludalfs mollici franco-fini (BRE). Gli Hapludalfs tipici di queste unità sono suoli profondi da 80 a 110 cm, con scheletro che aumenta gradualmente con la profondità dal 10-20% al 50-60% e tessitura franca o franco-limosa (talora franco-argillosa in profondità); il pH aumenta verso il basso da valori acidi a subacidi e la saturazione in basi passa da percentuali basse a medio-alte; il drenaggio è generalmente buono. Gli Hapludalfs mollici si differenziano per la profondità del suolo a volte maggiore (fino a 130 cm), valori di pH più elevati in profondità (fino a 7.5) e saturazione in media più elevata.

- **UNITA' DER1**

Consociazione di Typic HAPLUDALFS

La superficie presenta una morfologia subpianeggiante ed una pietrosità da comune ad elevata. Il substrato è costituito da depositi fluviali grossolani in matrice sabbiosa di natura carbonatica; trattasi di ghiaia, ciottoli e massi non alterati, aventi diametro medio 15-20 cm, di natura prevalentemente carbonatica e, subordinatamente, terrigena, metamorfica ed effusiva.

L'Unità è una consociazione di Haplaudalfs tipici franco fini; sono suoli profondi da 60 a 100 cm, con scheletro che aumenta con la profondità, tessitura franca, franco-limosa o sabbiosa in superficie e franco-limosa, franco-argillosa in profondità; il pH passa da valori subacidi ad alcalini con la profondità; il drenaggio è mediamente buono talora rapido.

- **UNITA' DER3**

Consociazione di Typic HAPLUDALFS

Unità cartografica ubicata in sinistra Brembo. La superficie ha morfologia pianeggiante, un'elevata pietrosità superficiale ed un uso del suolo a seminativo. Il substrato, ghiaioso-ciottoloso non alterato, è costituito in prevalenza da rocce carbonatiche e in misura minore da rocce terrigene e metamorfiche con rari litotipi ignei; il diametro medio dei ciottoli è di 15-20 cm. Trattasi di suoli profondi mediamente 60-70 cm e tessitura franco-limosa; il drenaggio è buono o talora rapido.

- **UNITA' BRZ1-LUP1**

Gruppo indifferenziato di Ultic HAPLUDALFS fine-silty, mixed, mesic e di Typic HAPLUDALFS fine-silty, mixed, mesic

Unità cartografica localizzata a NE dell'"Isola", appartenete al terrazzo fluvioglaciale intermedio. La superficie ha una morfologia pianeggiante, una pietrosità da assente a moderata e risulta debolmente incisa dal Torrente Lesina. L'uso del suolo è a seminativo o prato avvicendato.

Il substrato è costituito da ghiaie e ciottoli scarsamente o mediamente alterati, dalla forma tabulare ed isodiametrica, da arrotondata a subarrotondata, aventi diametro medio di 10-15 cm.

I suoli sono profondi da 60 cm ad oltre 2 m, con scheletro generalmente assente in superficie, ma che aumenta repentinamente in profondità; il drenaggio è buono, raramente mediocre.

L'area di indagine si imposta in particolare al limite dell'Unità Pedologica DER3 (Consociazione di Typic HAPLUDALFS).

Gli HAPLUDALFS sono Alfisuoli a regime udico e costituiscono di fatto il raggruppamento più numeroso e più vario tra quelli riscontrati nell'Isola Bergamasca. Condizione determinante per l'esistenza di un Alfisuolo è la presenza di un orizzonte "argillico", che testimonia la presenza di un processo d'illuviazione pedogenetica. Data la lentezza del processo naturale di accumulo dell'argilla, gli Alfisuoli sono il prodotto di un ciclo pedogenetico medio-lungo, che può verificarsi su superfici geomorfologicamente stabili dove, in assenza di fenomeni di ringiovanimento (erosione o deposito), il suolo è in grado di seguire un'evoluzione climatica. Per tale motivo gli Alfisuoli vengono rinvenuti sulle superfici più antiche a morfologia pianeggiante dell'Isola Bergamasca.

L'area in esame di proprietà della Ditta ARUBA S.p.A. si imposta sulla unità pedologica DER 1.

6 - INQUADRAMENTO CLIMATICO

Per quanto riguarda la climatologia, sono stati presi in considerazione gli aspetti generali, relativi alla scala provinciale da cui si è stralciato il settore di studio, pertinenti alle precipitazioni, alla temperatura e alla direzione dei venti.

6.1 Pluviometria

Per lo studio delle precipitazioni in Provincia di Bergamo, base indispensabile è stata l'elaborazione dei dati delle 46 stazioni pluviometriche che hanno operato nell'ambito del territorio provinciale per gli anni compresi tra il 1955 e il 1984: tra queste, la stazione di Bergamo in particolare possiede una serie di misure relative al periodo 1880-1988.

L'elaborazione dei dati messi a disposizione dalle stazioni pluviometriche ha permesso il disegno di una carta delle isoiete medie annue della Provincia di Bergamo, che rappresenta le linee di uguale valore delle precipitazioni medie annuali, espresse in mm: da essa si rileva che il valore della precipitazione media annua nel settore di Stezzano-Urgnano può essere considerato dell'ordine di 1200-1300 mm annui di pioggia. Le stazioni pluviometriche più vicine sono quelle di Bergamo (1244 mm) e di Martinengo (1030 mm). Negli ultimi anni l'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura ha attivato altre stazioni di misura e di controllo: una di esse è situata proprio a Stezzano.

L'elaborazione dei dati relativi alle stazioni pluviometriche ha permesso inoltre di registrare i valori massimi e minimi annui delle precipitazioni nell'area di riferimento. Le precipitazioni minime registrano valori compresi grosso modo tra i 650 e i 750 mm, mentre le massime annue sono comprese tra circa 1800 mm e circa 2100 mm di pioggia.

Di seguito si riporta la tabella delle precipitazioni medie mensili e annue misurate alla Stazione di Stezzano nel periodo 1958-1987 (da Bertolini M., Elitropi C., 1987, Amm. Prov. di Bergamo)².

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
69	69	89	87	119	119	102	133	93	118	115	70	1184

²Bertolini M., Elitropi C., "Osservazioni meteorologiche 1958-1987: note di climatologia e ambiente", Amm. Prov. di Bergamo, 1987; Bertolini M., Elitropi C., Elitropi M., "Trentadue anni di osservazioni meteorologiche a Bergamo", Amm. Prov. di Bergamo, 1990

6.1.1 - Precipitazioni massime nell'ambito giornaliero - calcolo delle precipitazioni intense

A titolo orientativo si riporta la rappresentazione grafica della distribuzione di frequenza delle suddette precipitazioni relative alla stazione di Bergamo; i dati relativi ad un $T_r=50$ anni sono rispettivamente mm 67 (1h), 87 (3h), 105 (6h), 115 (12h), 143 (24h).

Con i dati forniti dalle stazioni pluviografiche operanti sul territorio della Provincia di Bergamo e nelle provincie limitrofe, dopo aver effettuato la regolarizzazione mediante il modello di Gumbel, si sono potute comunque calcolare le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno.

Il procedimento adottato è stato quello usualmente proposto, ovvero, quello basato sulla regolarizzazione dei dati disposti in un diagramma bilogarithmico mediante regressione lineare.

L'espressione della curva segnalatrice in funzione del tempo di ritorno è del tipo:

$$h = at^n$$

dove:

h = precipitazione in mm, per un determinato tempo di ritorno;

t = durata della precipitazione in ore;

a ed **n** coefficienti delle curve segnalatrici per assegnato tempo di ritorno.

In base alle predette determinazioni, si sono individuate le espressioni delle curve segnalatrici di possibilità climatica ovvero i parametri di "a" ed "n". Assegnata la durata della pioggia (t), è così possibile ricavare l'altezza di pioggia critica (h) corrispondente ad un prefissato tempo di ritorno (T_r) in anni.

Nelle tavole allegate sono riportati i valori di "a" ed "n" in funzione del tempo di ritorno (elaborazioni del Prof. Ing. Paoletti).

Vengono qui di seguito riportati i valori delle precipitazioni annue medie, minime e massime, relative alle stazioni pluviometriche più vicine all'area in esame, desunte dallo studio della Regione Lombardia "Carta delle precipitazioni minime, medie e massime annue del territorio alpino lombardo (registrate nel periodo 1891-1990)" edito nel 1999. L'area oggetto della presente indagine rientra nel "bacino idrografico Adda Inferiore"; le stazioni pluviometriche più vicine all'area presa in esame sono Bergamo (pluviografo), Olera (pluviometro) e Brembate Sotto (pluviometro) delle quali si riportano nella sottostante tabella i rispettivi valori di precipitazione annua:

n.	Bacino Idrografico	Località	Quota	Strumento	Inizio	Fine	Anni	Media	Min	Max
11	Adda Inferiore	Bergamo	366	Pr	1876	1981	98	1217.4	753.0	2117.0
58	Adda Inferiore	Olera	518	P	1921	1981	54	1615.8	467.0	2686.4
14	Adda Inferiore	Brembate Sotto	173	P	1890	1981	85	1078.2	637.0	1936.5

P = pluviometro

Pr = pluviografo

Dall'osservazione della carta delle precipitazioni medie annue si evince che il valore di piovosità media annua per l'area comprendente il territorio comunale di Ponte S. Pietro si attesta nell'intorno di 1200 mm/anno.

6.2 Temperatura

Negli anni tra il 1955 e il 1984 sono state attive in Provincia di Bergamo 22 stazioni abilitate a registrare i dati sulle temperature massima e minima giornaliera: le stazioni più vicine all'areale considerato sono, anche in questo caso, Bergamo e Martinengo (di cui in seguito si danno i valori misurati della temperatura), oltre alla stazione di Stezzano dell'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura.

	Bergamo	Martinengo
Tmax	43.0	32.0
mediaTmax	18.6	15.3
Tmedia	13.6	12.4
mediaTmin	8.7	9.5
Tminima	-11.0	-8.0

Dai dati a disposizione si ricava che la temperatura media a Stezzano è pari a 12,3°C, con un'escursione termica media annua di 20,9°C.

Di seguito si riporta la tabella con la media mensile delle minime e delle massime e la temperatura media annua della Stazione di Stezzano, misurate per il periodo 1958-1987 (da Bertolini M., Elitropi C., 1989, Amm.Prov. di Bergamo).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Min	-2.1	0.1	3.1	6.5	10.7	14.5	16.9	16.4	13.7	8.9	3.8	-0.7	
Max	5.4	7.9	12.1	16.7	21.3	25.6	28.2	27.2	23.9	17.9	11.0	6.5	
Med	1.7	4.0	7.6	11.6	16.0	20.1	22.6	21.8	18.8	13.4	7.4	2.9	12.3

6.3 Umidità relativa dell'aria

A proposito dell'umidità relativa dell'aria, Bertolini M., Elitropi C. ed Elitropi M. dichiarano che il regime giornaliero della stessa presenta una dinamica inversa alla curva della temperatura dell'aria e il regime annuo presenta una dinamica simile a quella del regime giornaliero.

Per maggiore informazione si riprendono le tabelle del lavoro dell'Istituto per la Cerealicoltura, relative alla stazione di Bergamo.

Umidità relativa alle ore 8, valori medi, decennio 1978

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
80	83	80	77	76	76	76	79	84	84	85	85

Umidità relativa alle ore 14, valori medi, decennio 1978-1987 (%)

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
67	68	63	58	58	52	52	54	56	65	70	74

Umidità relativa alle ore 19, valori medi, decennio 1978-1987 (%)

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
78	77	67	59	59	52	50	54	59	81	86	86

6.4 Evaporazione ed Evapotraspirazione

Per i dati relativi all'evaporazione ed evapotraspirazione è giocoforza riferirsi al contributo di Bertolini M., Elitropi C., Elitropi M., denominato "Trentadue anni di osservazioni meteorologiche a Bergamo", dell'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura edito dalla Provincia di Bergamo ed aggiornato al 1989.

Per quanto riguarda l'evaporazione, riferendosi alla stazione di Bergamo, il citato lavoro sottolinea che:

- piovosità ed evaporazione sono strettamente correlate tra loro
- l'evaporazione è direttamente correlata con la temperatura dell'aria, con quella del suolo e con l'eliofania assoluta
- è inversamente correlata con l'umidità relativa dell'aria
- il rapporto tra evaporazione e precipitazioni in mm è variato dal 25-30% nelle annate più piovose, al 60-70% in quelle meno piovose.

Mediamente, nei trentadue anni considerati per le elaborazioni dell'Istituto per la Cerealicoltura, risulta che l'acqua evaporata ammonta al 49% di quella ceduta.

Evaporazione	media mensile (mm) alla stazione di Bergamo												
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
media58/89	18	23	45	53	64	74	81	65	49	34	19	16	540

La perdita d'acqua dal terreno avviene non solo attraverso l'evaporazione, ma anche attraverso la traspirazione dei vegetali, dando origine al fenomeno della evapotraspirazione che, complessivamente, è anch'essa direttamente correlata con la temperatura dell'aria e del suolo, e inversamente con l'umidità relativa dell'aria.

Lo studio dell'evapotraspirazione da parte degli studiosi dell'Istituto Sperimentale della Cerealicoltura ha portato, per la stazione di Bergamo, alla costruzione di un climogramma che rappresenta l'evapotraspirazione reale e il bilancio idrico medio del trentennio 1958-1987. Tale climogramma mostra una condizione di utilizzo della riserva idrica del terreno in corrispondenza dei mesi di giugno e luglio, con un deficit idrico tra luglio e agosto; tale deficit non si prolunga dopo ottobre grazie alla diminuzione dell'evaporazione e della traspirazione.

6.5 Nebbia

Per la stazione di Bergamo è stato valutato da Bertolini M. et al. (citati) anche il fenomeno nebbia: essa infatti è presente con una certa frequenza nei mesi da Novembre a Gennaio, mentre può ricorrere anche ad Aprile e Settembre nella parte più bassa della pianura bergamasca.

Da valutazioni statistiche risulta che a partire dalla metà degli anni '70 la nebbia ha ridotto la sua presenza anche nel trimestre invernale; comunque si confermano i dati

dell'esperienza, secondo cui il trimestre più nebbioso è quello dicembre-gennaio-febbraio, seguito da settembre-ottobre-novembre.

Numero dei giorni con nebbia alla stazione di Bergamo:

	G	F	M	O	N	D	Anno
media58/89	11	5	1	2	7	9	36

6.6 Vento

A proposito del vento, le sole stazioni per le quali si possiedono dati riferiti a periodi abbastanza lunghi, poco lontane dall'area di studio, sono quelle di Bergamo (1962-1981) e di Orio al Serio.

Occorre tuttavia tener conto che il vento è un parametro molto variabile non solo nel tempo, ma anche fra località vicine; varia la sua intensità ma soprattutto la direzione in quanto condizionate dalla morfologia del territorio e dalle condizioni climatiche.

Le osservazioni relative alla stazione di Bergamo hanno a loro volta evidenziato che le frequenze più alte della direzione di NE riguardano i mesi freddi, mentre in primavera-estate prevale la provenienza SE.

Nella stazione di Orio al Serio (nel quinquennio 1951-1956) si è determinato che la direzione preferenziale di provenienza dei venti sia quella da Nord/Nord-Est e da Sud/Sud-Ovest con una distinzione marcata tra la mattina (vento proveniente da N/NE) e la sera (vento proveniente da S/SO); molto significativa anche la percentuale di giorni di calma (poco più del 30%). La netta differenza di regime fra mattina e pomeriggio conferma la sua natura termica e quindi la stretta correlazione al fenomeno delle brezze.

Dati più recenti, relativi ad un maggior numero di stazioni, sono stati elaborati dal P.M.I.P. U.O. Fisica E.T.A (Sez. Fisica dell'atmosfera dell'USSL, Ambito territoriale n. 12) fino a tutto il 1994³.

Nel lavoro del Presidio Multizonale a cui qui si fa riferimento, è detto esplicitamente: "In conclusione si può affermare che nella provincia di Bergamo i laghi influenzano la distribuzione della direzione del vento nelle zone più limitrofe ad essi, mentre l'orografia delle valli principali (Val Brembana e Val Seriana) determina una circolazione del vento all'interno di tali valli secondo il tracciato delle stesse. Esiste

³Azienda U.S.S.L.-Ambito territoriale n.12, P.M.I.P. U.O. Fisica e T.A., Sez. Fisica dell'Atmosfera, Variazione del campo anemologico nella Provincia di Bergamo nell'anno 1994, a cura di Ing. A.Musitelli e P.I. M.Foresti

poi un settore della provincia di Bergamo che abbraccia tutta la parte pianeggiante del territorio, in cui i risultati della variazione del campo di vento nelle varie centraline di misura sono quasi tutti concordi con la centralina di riferimento (Magistrali)".

La stazione di riferimento, collocata presso l'Istituto Magistrale "P.Secco Suardo" di Bergamo, mostra la maggiore frequenza percentuale, per quanto riguarda la direzione dei venti, da Nord a Sud: tale direzione risulta confermata anche per la stazione di Orio al Serio.

7 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

7.1 - Idrografia superficiale

L'andamento idrografico della zona è caratterizzato essenzialmente dalla presenza del fiume Brembo; la confluenza tra quest'ultimo con il fiume Adda avviene immediatamente a Nord dell'abitato di Canonica d'Adda.

Nell'area in esame, il fiume Brembo scorre incassato di qualche metro rispetto al livello fondamentale della pianura.

Oltre ai due fiumi principali è presente una fitta rete di canali che derivano acqua da questo; in particolare nell'area in esame si ricordano la Roggia Curna e la Roggia Curnino-Ceresino, oltre a tutta una serie di canali minori a scopo perlopiù irriguo.

Fiume Brembo

Scorre nella porzione occidentale della Provincia di Bergamo, con direzione approssimativamente Nord-Sud, per andare a sfociare nel Fiume Adda, all'altezza del comune di Canonica d'Adda

Il bacino idrografico presenta una conformazione stretta ed allungata assimilabile ad un triangolo. La parte sommitale localizzata in corrispondenza dello spartiacque con la Valtellina (nel tratto compreso tra il Pizzo dei Tre Signori ed il Pizzo del Diavolo di Tenda), mentre il vertice opposto coincide con il punto di confluenza in Adda.

La parte strettamente alpina del suo scorrere, è caratterizzata da una fitta rete di canali di drenaggio orizzontali in quattro rami principali, e da piccoli laghi alpini impostati in depressioni di origine glaciale.

Nel tratto mediano del percorso, in direzione Adda, quello prealpino, si concentrano i più importanti affluenti, seguiti, nell'area prospiciente la pianura, da ulteriori affluenti, di minore valenza.

L'andamento del solco principale del fondovalle presenta un profili altimetrico che si articola in un primo tronco dalle sue origini fino al comune di Lenna, alla cui altezza si individua il Brembo propriamente detto, caratterizzato da elevate pendenze, un secondo ed intermedio tronco, compreso tra Lenna e Ponte S. Pietro, con pendenze meno pronunciate, anche se il percorso si snoda ancora in zona montana, poi collinare; ed un tratto di pianura, compreso tra Ponte S. Pietro e la foce in Adda, con pendenze inferiori a quelle precedenti, ma pur sempre dell'ordine del 4-5 per mille.

Per quanto riguarda il suo regime di flusso, il fiume segue da vicino il regime delle precipitazioni che subisce, è infatti caratterizzato da un massimo principale nel

periodo primaverile (aprile-giugno), ed un secondo in quello autunnale (novembre), in accordo appunto con le precipitazioni, alle quali in primavera si vanno a sommare i deflussi determinati dalla fusione delle nevi.

La differenza tra quantità d'acqua che cade nel bacino e quella che defluisce attraverso il fiume, consente la ricostruzione del bacino idrico.

Le portate di afflusso sono costantemente superiori a quelle di deflusso. Il divario è particolarmente accentuata nei mesi estivi, quando è particolarmente accentuata l'evapotraspirazione.

Le acque del fiume sono utilizzate nella provincia di Bergamo sia per la produzione di forza motrice, sia a scopo irriguo.

7.2 - Rete irrigua artificiale

Le caratteristiche dell'alta pianura bergamasca, tendenzialmente asciutta, hanno fatto sì che fin dai tempi più antichi il fabbisogno di acque di irrigazione venisse risolto con la costruzione di rogge e canali per l'adduzione di acqua dal Serio, in particolare, ma anche dal Brembo e, per la pianura più bassa, dall'Adda e dall'Oglio.

Nella porzione territoriale considerata, numerose sono le rogge di una certa importanza, il cui tracciato conserva ancora in parte i caratteri tradizionali, solo in parte modificati dalle opere più recenti. I canali principali si dividono poi in una miriade di canali e vasi secondari, spesso effimeri a seconda delle pratiche agricole e destinati a fornire l'acqua ai singoli fondi.

In particolare nell'area in esame sono presenti le seguenti rogge:

- **Roggia Curna**

La Roggia Curna non ha attualmente alcuna funzione irrigua, assumendo invece una sempre più rilevante funzione idraulica per la parte collinare a nord di Bergamo.

La Roggia Curna si origina nel centro di Bergamo distaccandosi dalla sponda destra della roggia madre.

Dopo aver incrociato il Torrente Morla e la Roggia Serio, si dirige verso ovest e dopo aver incrociato lo Scaricatore della Valle d'Astino, al confine tra Bergamo, Mozzo e Curno, origina lo Scaricatore di cascina Lupo, che confluisce nello Scaricatore della Roggia Serio.

- **Scaricatore della Roggia Serio**

Lo scaricatore si origina dalla Roggia Serio in sponda destra al termine del suo tratto urbano nella città di Bergamo, scorrendo parallela ad essa fino a confluire nel fiume Brembo in Comune di Treviolo. Si tratta di un'opera in cemento armato, in parte a

cielo aperto e in parte combinata, della lunghezza di quasi 4 Km, con portata massima convogliabile di 18 mc/s. Dopo aver ricevuto gli eccessi della Roggia Serio, smaltisce anche la portata derivante dallo scaricatore della Valle d'Astino e dello scaricatore di Cascina Lupo.

- **Roggia Curnino-Ceresino**

Deriva nel territorio di Ponte S. Pietro dalla sponda sinistra del fiume Brembo. Subito volge verso sud nel territorio di Curno e poi di Treviolo. La roggia serve un'area di circa 140 ha, con portata in concessione di 0,16 mc/s.

8 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Sulla base della cartografia geologica, geomorfologica ed in base a quanto precedentemente descritto, si è proceduto all'esame degli aspetti idrogeologici.

L'indagine idrogeologica è stata articolata nelle seguenti operazioni:

- censimento e caratterizzazione delle acque sotterranee, sia di pozzi che di fontanili presenti;
- ricostruzione della struttura idrogeologica della porzione di pianura tramite tracce di sezioni idrogeologiche basate su elaborazione dei dati esistenti e compilazione di carte idrogeologiche;
- elaborazione mediante grafici e tabelle delle variazioni stagionali della superficie isopiezometrica;

Per poter realizzare questo studio, sono stati raccolti dati disponibili presso il Genio Civile di Bergamo, ASL, Provincia di Bergamo e Consorzio di Bonifica Media Pianura

8.1 - Struttura idrogeologica a scala regionale

A differenza della geologia superficiale, quella del sottosuolo comprende notevoli variazioni laterali e verticali in dipendenza degli eventi che hanno interessato la zona durante il quaternario.

I dati ottenuti specificatamente per il presente lavoro insieme, a quelli di precedenti studi⁴⁵, sono stati utilizzati per l'elaborazione, mediante computer, di sezioni idrogeologiche e stratigrafiche che nel loro insieme forniscono un quadro riassuntivo e schematico delle caratteristiche idrogeologiche locali e da ciò si possono pure vincere l'andamento della circolazione idrica sotterranea nonché le principali direzioni di flusso.

L'articolazione delle litologie che costituiscono il serbatoio contenente le falde sfruttabili è stato ricostruito utilizzando le stratigrafie dei pozzi già terebrati in zona.

La distribuzione delle unità litologiche che caratterizzano i depositi alluvionali è sempre piuttosto complessa. I sedimenti che hanno colmato la depressione padana,

⁴Francani et alii, 1988 e G.P. Beretta et alii, 1989)

⁵V. Francani e F. Orlandi - "Studio idrogeologico sul territorio bergamasco fra i fiumi Adda e Oglio" - IRSA-CNR - Roma 1978)

e quindi anche il settore di pianura preso in considerazione dalla seguente relazione, sono caratterizzati litologicamente dall'ambiente deposizionale (marino, palustre, continentale), dal bacino di provenienza del materiale, dall'energia che ha determinato il trasporto e la sedimentazione della frazione solida. Data l'estrema variabilità dei paleoambienti in periodi coevi, durante i quali i sedimenti hanno colmato il bacino padano, le unità litologiche che caratterizzano il sottosuolo in pianura non possono essere delimitate applicando i criteri utilizzati nei rilievi geologici di montagna. Inoltre, i dati litologici, sono dedotti dalle stratigrafie dei pozzi spesso redatti con terminologie inappropriate.

La successione litostratigrafica nelle alluvioni è caratterizzata dalla sovrapposizione di "unità idrogeologiche" che costituiscono il raggruppamento di più unità litologiche immediatamente susseguenti in ordine deposizionale od eteropiche tra loro. Possono essere litologicamente eterogenee, ma presentano un comportamento idrogeologico complessivamente omogeneo per caratteristiche di permeabilità, trasmissività, modalità di circolazione.

A scala regionale, entro la quale è compresa anche l'area in esame è stata riconosciuta una serie idrogeologica definita dalle seguenti unità⁶:

- **Substrato roccioso indifferenziato**

Esso è costituito da rocce delle ere Mesozoica e Cenozoica. Con questo termine ci si riferisce alla litologia presente nei rilievi che bordano la pianura, la stessa è rintracciabile ad una certa profondità sotto le coperture alluvionali.

Non è individuabile nella zona oggetto di studio anche perché si sono presi in considerazione soltanto i primi cento metri al di sotto del piano di campagna.

- **Acquifero delle "Argille sotto il Ceppo" - Unità a limi con torbe, rare ghiaie e conglomerati**

L'unità risulta costituita da limi, limi sabbiosi ed argillosi, con intercalazione di sabbia e rare ghiaie di origine continentale di età Villafranchiana.

Gli acquiferi manifestano, in linea generale, una forma lenticolare; le ghiaie e le sabbie sono ovunque subordinate ai terreni limosi, che hanno la caratteristica colorazione grigio - azzurra e spesso recano intercalazioni.

A questa unità difatti appartengono anche i sedimenti del Pleistocene inferiore di origine marina, (contenenti anche macrofaune fossili) i quali hanno litologia e

⁶Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca - "Studio di gestione delle acque di superficie e di falda nel territorio compreso fra i fiumi Adda e Oglio ..." - 1991

comportamento idrogeologico analogo a quello dei sedimenti continentali sopra citate.

I livelli più permeabili formano gli acquiferi nelle "Argille sotto il Ceppo" (denominati anche acquiferi profondi) che sono sede di falde semiconfinite o confinate, con potenzialità idrica molto ridotta.

- **Acquifero del "Ceppo" - Unità a conglomerati**

Si tratta di una successione di conglomerati compatti e fratturati, sabbie, arenarie e rare ghiaie, con scarse intercalazioni argillose, che si può rinvenire a varia profondità in tutta la pianura nella fascia più vicina ai rilievi prealpini. L'acquifero del "Ceppo" è la principale roccia serbatoio e contiene una falda libera che trova alimentazione principalmente dalla infiltrazione di acque meteoriche, favorite dalle caratteristiche di permeabilità dei sovrastanti depositi fluvioglaciali recenti, di quelle della rete irrigua ed in parte dalle perdite di subalveo dei corsi d'acqua superficiale.

La permeabilità dei depositi conglomeratici è alquanto varia, influenzata dalla presenza di fratture e cavità di dissoluzione, dal grado di cementazione e dalla percentuale di sedimenti fini.

Le lenti ghiaioso - sabbiose presentano una considerevole estensione areale (fino a 2-3 Km) e visto il loro discreto spessore costituiscono un corpo acquifero molto produttivo e sfruttato dai pozzi perforati nel settore. Tutto lo spessore dell'unità conglomeratica risulta pertanto caratterizzato da una marcata eterogeneità litologica che condiziona la circolazione idrica sotterranea, di conseguenza la variazione laterale delle caratteristiche idrauliche dell'acquifero porta a rendimenti dei pozzi molto diversificati.

Essendo comunque lo spessore saturo mediamente superiore a 50 metri la potenzialità idrica dell'acquifero del "Ceppo" è piuttosto elevata.

I pozzi che lo captano presentano portate specifiche con valori compresi tra i 10 ed i 30 l/s*m in relazione ad una diminuzione progressiva dello spessore del "Ceppo" conseguente ad un innalzamento dell'unità "Villafranchiana".

- **Acquifero del fluvioglaciale "Prewürm" - Unità ghiaie, sabbie a componente limoso**

Questa unità, che costituisce il substrato degli acquiferi superficiali più produttivi, ha un certo interesse pratico in quanto ospita lenti ghiaioso - sabbiose di sensibile estensione ma non di grande spessore nelle quali possono essere contenute acque che fino ad ora si sono rilevate scadenti per l'elevato contenuto in ferro e idrogeno solforato.

Lo spessore di tali depositi è talora ridotto al punto che i pozzi raggiungono i depositi limosi - argillosi marini del Pleistocene inferiore.

- **Acquifero del fluvioglaciale "Würm Auct." - Unità a ghiaie e sabbie**

Questa unità, in cui spesso è contenuta la prima falda, è costituita dalle ghiaie e dalle sabbie dei sedimenti alluvionali recenti e di quelli fluvioglaciali würmiani contraddistinti da caratteristiche di permeabilità elevate.

L'interesse idrogeologico dell'unità in esame risiede nella capacità che hanno tali terreni di trattenere le infiltrazioni dalla superficie e di trasmettere alimentazione alle falde.

8.2 - Idrogeologia di dettaglio

In questa fase si è sviluppata una cartografia partendo dalle stratigrafie di pozzi noti in tutta l'area già censiti in precedenti lavori⁷ al fine di poter valutare il sottosuolo e la profondità di eventuali banchi impermeabili ed evidenziare correttamente i rapporti tra le diverse unità.

A questo proposito sono state tracciate delle sezioni significative (*Ved. Tavola 7*).

Secondo lo schema impostato nel quadro del modello idrogeologico della pianura, vengono distinti due sistemi acquiferi principali: un sistema superiore, freatico - semiconfinato, ed uno inferiore artesiano. La geometria dei due sistemi è rappresentata nelle sezioni idrogeologiche.

Si nota in particolare che:

- i due sistemi acquiferi sono separati da un orizzonte chiave, denominato A che rappresenta la base del sistema freatico;
- sebbene alla scala regionale del modello della pianura sia stata postulata l'esistenza di continuità idraulica tra il sistema freatico ed il sistema confinato, dall'esame delle sezioni risulta ovvio che alla più ristretta scala locale dello studio in oggetto, i due sistemi in talune situazioni sono decisamente separati.

8.3 - Carta piezometrica

Le acque sotterranee che saturano gli acquiferi sono limitate superiormente dalla "superficie piezometrica", la conoscenza del cui andamento riveste importanza per la

⁷ Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca – “Studio di gestione delle acque di superficie e di falda nel territorio compreso fra i fiumi Adda e Oglio ...” - 1991

definizione delle caratteristiche di scorrimento delle acque sotterranee e per la previsione quindi della velocità e delle linee preferenziali secondo le quali si può propagare un'eventuale inquinamento.

In questa fase si è sviluppata una specifica cartografia consistente in una carta idrogeologica con evidenziato l'andamento delle curve isofreatiche rappresentanti il livello piezometrico statico dei pozzi in zona (*ved. Tavola 6*). In base ai dati pubblici riguardanti i pozzi della zona, si può ricostruire l'andamento delle curve isofreatiche che risultano avere una decrescita nei valori spostandoci verso Sud; con valori che variano da 230 m.s.l.m. a nord, fino a 180 m.s.l.m. e raggiunge valori di 205 - 210 m s.l.m. in corrispondenza dell'area oggetto di indagine. La profondità della falda idrica superficiale è ubicata, nella zona dove è sita l'area di indagine della Ditta ARUBA S.p.A. e nell'immediato intorno, a circa 25,0 m dal piano campagna.

Si può, inoltre, notare come, nell'area presa in esame, le direzioni di flusso mostrino grosso un andamento NE-SW nell'area oggetto di indagine (*ved. Tavola 6*).

Durante l'esecuzione dei sondaggi e delle prove penetrometriche che hanno raggiunto la massima profondità di indagine di 10,00 m da p.c., non è stata rinvenuta acqua di falda.

9 - VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

Un elaborato di sintesi sulla vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, permette di individuare in modo oggettivo quelle aree del territorio che, sulla base di alcuni parametri naturali, risultano essere più o meno vulnerabili dalla presenza di un potenziale "centro di pericolo".

Più suscettibile all'inquinamento è un determinato sito, maggiore sarà il potenziale di impatto di un "centro di pericolo" nei confronti di esso.

La costruzione della carta utilizza un sistema parametrico a punteggio semplice; vengono cioè selezionati i parametri sui quali si basa la valutazione di vulnerabilità e a ciascun parametro viene attribuito un intervallo di punteggio; viene quindi ottenuta la valutazione desiderata per ciascuna area presa in esame dalla sommatoria dei punteggi.

Le aree sulle quali viene applicato il sistema sono ottenute suddividendo arbitrariamente il territorio in maglie quadrate di 0.5 km di lato.

I parametri utilizzati per la valutazione della vulnerabilità sono i seguenti:

Litologia del sottosuolo: viene suddivisa in quattro classi stimando il contenuto in ghiaie e sabbie percentuale rispetto al totale dello spessore insaturo.

Spessore dell'insaturo (soggiacenza): si considera il valore della soggiacenza misurato nei sondaggi eseguiti per il presente lavoro e nei pozzi della zona ove necessario.

Tipologia del suolo: vengono considerati alcuni tipi di suoli desunti dalla carta pedologica ed integrati con i dati dei sondaggi geognostici.

Spessore degli strati impermeabili: viene considerato lo spessore massimo dei livelli limosi e argillosi con continuità verticale.

Ogni parametro è stato suddiviso in classi con punteggio crescente secondo le seguenti tabelle:

A)			B)		
CONTENUTO IN GHIAIE E SABBIE	CLASSE	INDICE	SPESSORE INSATURO	CLASSE	INDICE
< 25%	1	1.0	> 45 m	1	1.0
25% ÷ 50%	2	1.5	31 m ÷ 45 m	2	1.5
51% ÷ 75%	3	2.0	16 m ÷ 30 m	3	2.0
>75%	4	2.5	0 m ÷ 15 m	4	2.5

C)			D)		
TIPO SUOLO	CLASSE	INDICE	MAX. SPESSORE STRATO IMPERM.	CLASSE	INDICE
ARGILLOSO	1	2.5	> 4 m	1	1
LIMOSO	2	3.2	4 m ÷ 2.1 m	2	2
SABBIOSO	3	3.5	2 m ÷ 1.1 m	3	4
GHIAIOSO	4	5.0	1 m ÷ 0 m	4	5

Il punteggio ottenuto sommando il valore degli indici relativi alle classi stabilite per ogni parametro determina l'indice di vulnerabilità intrinseca.

Vengono così delineate zone con grado di vulnerabilità decrescente da elevato a basso secondo intervalli di punteggio dell'Indice di vulnerabilità come da tabella seguente:

GRADO DI VULNERABILITÀ	INDICE DI VULNERABILITÀ
BASSO	5.5 ÷ 7
MEDIO-BASSO	7.1 ÷ 9.6
MEDIO	9.7 ÷ 12.1
ALTO	12.2 ÷ 14.7
ELEVATO	> 14.8

Il grado di vulnerabilità così determinato è relativo, vale a dire esso permette solo di valutare la minore o maggiore vulnerabilità di una maglia di territorio rispetto a quelle vicine e non ha quindi un valore assoluto.

In riferimento alle stratigrafie dedotte dal sondaggio effettuato, si è evidenziata, in corrispondenza dell'area oggetto di indagine la presenza di un livello superficiale costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose con ciottoli.

E' quindi possibile affermare che l'area oggetto di studio di proprietà della ditta ARUBA S.p.A. risulta avere una vulnerabilità alta.

10 - NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE PER LE COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

10.1 - Normativa di riferimento

- **Decreto Ministeriale 14.01.2008** - Testo Unitario – Norme tecniche per le Costruzioni
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008. Circolare del 2 Febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** – Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007
- **Eurocodice 8 (1998)** – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)** – Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali – UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002)** – Progettazione geotecnica - Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)** – Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.
- **Leggi regionale** in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico
- **Ordinanze** Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale
- **D.M. 11.03.1988** – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione (se si opera in Zona Sismica 4, Classi I e II).

In particolare le NTC 2008 “Norme Tecniche delle Costruzioni” – D.M. 14.01.2008:

1. Definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione, collaudo e manutenzione delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica.
2. Definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni e le prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.
3. Forniscono i criteri generali di sicurezza.

4. Precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, cioè i carichi sulle costruzioni.
5. Definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

10.2 - I terremoti

La crosta, cioè l'involucro più esterno della Terra, è in lenta evoluzione. I terremoti sono la manifestazione più evidente dell'azione delle spinte tettoniche che interessano le aree sismicamente attive. Sotto l'azione del movimento relativo tra i grandi blocchi continentali, i materiali che costituiscono la crosta si comportano elasticamente accumulando e scaricando energia meccanica. Quando lo scorrimento tra i blocchi viene ostacolato da forze coesive dovute all'attrito e la tensione si accumula per lunghi periodi di tempo, al superamento del coefficiente di attrito, l'enorme energia trattenuta sotto forma di deformazione viene rilasciata con violenza dal volume deformato, producendo una frattura che partendo dal punto di maggior debolezza provoca lo scorrimento dei due blocchi lungo il piano di faglia.

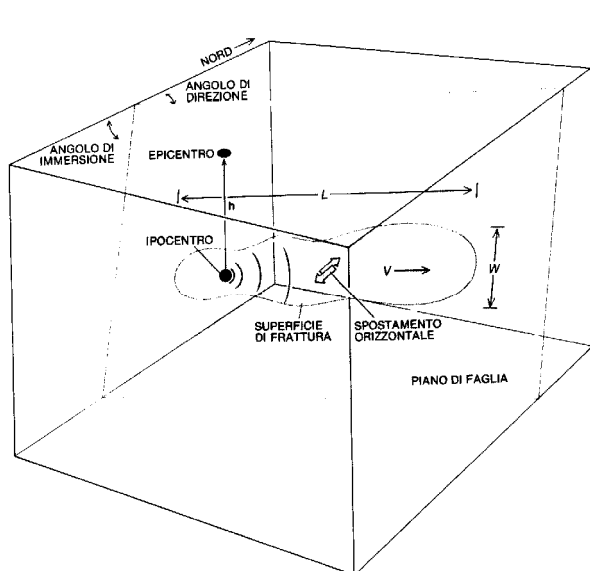


Figura 1 - Schematizzazione del processo di rottura sul piano di faglia. [da *I moti violenti del suolo durante i terremoti*, ROVELLI]

Dopo avere rilasciato in modo repentino la tensione accumulata, le rocce ai lati opposti della faglia si portano in una nuova posizione di equilibrio, e la grande

quantità di energia liberata viene in parte dissipata sotto forma di calore dovuto all'attrito e in parte emessa sotto forma di onde elastiche (le onde sismiche prodotte dal terremoto). Il punto di debolezza dal quale inizia la nucleazione viene chiamato *ipocentro*, e la sua proiezione sulla superficie terrestre viene detta *epicentro* del terremoto.

Le onde sismiche irradiate dal volume focale attraversano la crosta e raggiungono la superficie nella zona epicentrale.

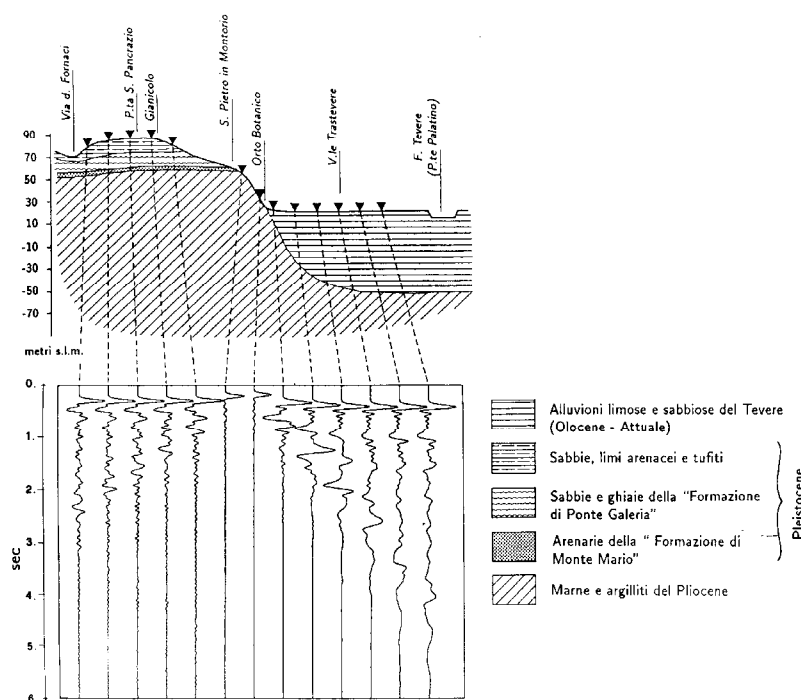


Figura 2 - Esempio di diversificazione della risposta sismica superficiale sulla superficie generata dall'eterogeneità geologica sub-superficiale. [da *I moti violenti del suolo durante i terremoti*, ROVELLI]

Il parametro storicamente più usato per misurare l'intensità dei terremoti è la *magnitudo*. A differenza della *scala Mercalli* che viene calcolata sulla base degli effetti sui manufatti e sulle persone nelle diverse località in cui il terremoto viene risentito, e che quindi varia spazialmente in modo significativo soggettivo, la *magnitudo* caratterizza l'entità del terremoto stesso. La *magnitudo* viene calcolata mediante il logaritmo dell'ampiezza della massima elongazione misurata su uno strumento campione. Il valore così ottenuto viene poi corretto per un fattore empirico, introdotto affinché lo stesso terremoto fornisca la stessa magnitudo a diverse distanze: tale correzione empirica è necessaria per compensare la diminuzione dell'ampiezza delle onde sismiche allontanandosi dall'epicentro.

10.3 - Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Ponte San Pietro (BG)

La storia della definizione delle *zone sismiche* (classificazione sismica) in Italia è molto complessa.

L'individuazione delle *zone sismiche* in Italia è iniziata dai primi anni del '900 attraverso lo strumento del Regio Decreto, emanato a seguito di terremoti distruttivi (Messina, Reggio Calabria 1908). Dal 1927 le località colpite sono state distinte in due categorie, in relazione al "loro grado di sismicità e alla loro costituzione geologica".

La mappa sismica d'Italia non era altro che la mappa dei territori colpiti dai forti terremoti avvenuti dopo il 1908 a meno di improvvise successive decisioni di declassificazione che hanno purtroppo riguardato una serie di territori colpiti da forti terremoti.

Tutti i territori colpiti dai terremoti distruttivi avvenuti prima del 1908 (la maggior parte delle zone sismiche d'Italia) non erano classificati come sismici e, pertanto, non vi era alcun obbligo di costruire nel rispetto della normativa antisismica; in questo modo si è accumulato un enorme deficit di protezione antisismica.

La Legge 2/2/1974 n. 64 ha stabilito il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale oltre che alla redazione di normative tecniche.

Nel 1980 il Progetto finalizzato "Geodinamica" del CNR elaborò, sulla base delle conoscenze scientifiche e delle metodologie allora disponibili, una proposta di *classificazione sismica* del territorio nazionale che fu adottata tra il 1981 ed il 1984 con vari decreti del Ministro per i lavori pubblici. Tale proposta si basava per la prima volta su parametri quantitativi definiti in modo omogeneo per tutto il territorio nazionale (*scuotibilità e massima intensità risentita*), con l'integrazione di alcuni elementi sismotettonici.

Fino al 1988 la competenza per l'individuazione delle zone sismiche restò al Ministro dei lavori pubblici. Con il D.Lgs. n. 112/1998 questa competenza è stata trasferita alle Regioni, mentre spetta allo Stato definire i relativi criteri generali.

Così come le norme tecniche per la costruzione in zona sismica sono praticamente ferme al 1986, la mappa delle *zone sismiche* non è stata più aggiornata dal 1984.

Nell'Aprile 1997, su delibera della Commissione per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, venne insediato un gruppo di lavoro incaricato di formulare una proposta di aggiornamento della *classificazione sismica* d'Italia.

Il gruppo di lavoro produsse uno studio, basato sull'utilizzo congiunto di tre parametri. Due di questi sono di tipo probabilistico: i) l'accelerazione massima del terreno $a_{\max}$ (PGA) con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, la cui distribuzione è rappresentata da PS4; ii) l'integrale dello spettro di risposta di pseudovelocità, detto "intensità di Housner". Entrambi sono determinati con metodologie simili a partire dallo stesso materiale di base. Il terzo, di tipo deterministico, è rappresentato dal valore della *intensità massima sperimentata* nell'ultimo millennio.

Questo studio, denominato "Proposta 98", venne approvato dalla Commissione grandi rischi, trasmesso al Ministro dei lavori pubblici e successivamente pubblicato (Gruppo di lavoro 1999).

Il prosieguo dei lavori che ne scaturì fece emergere le problematiche relative alla 3° *categoria sismica* che nella proposta venne estesa a ben 1698 Comuni rispetto ai soli 99 della classificazione allora vigente.

Successivamente il Servizio sismico nazionale elaborò la "Proposta 01" che però non ebbe nella sostanza particolari divergenze e contributi rispetto alla precedente.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 ha riclassificato l'intero territorio nazionale indicando 4 valori di accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto il numero delle zone è fissato in 4.

Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)
	$[a_g/g]$	$[a_g/g]$
1	$>0,25$	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	$<0,05$	0,05

Ai sensi dell' O.P.C.M. l'area oggetto di indagine in comune di Ponte San Pietro (BG) rientra nella Zona 3.

La Regione Lombardia ha proceduto alla riclassificazione sismica dei comuni della propria Regione. Con DGR n. X/2129 dell'11 Luglio 2014 l'area oggetto di indagine ricadente comune di Ponte San Pietro rientra nella **Zona 3**. I valori di AgMax sono i seguenti :

Provincia	Comune	AgMax
BG	Ponte San Pietro	0,100192

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 Gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica viene definita secondo un approccio "sito dipendente" e non più tramite il criterio "zona dipendente".

10.4 - Azione Sismica

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR} .

La pericolosità sismica è definita in termini di :

- Accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A), con superficie topografica orizzontale (categoria topografica T1);
- 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 .

Ai fini dell NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **a_g** accelerazione orizzontale massima al sito
- **Fo** 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.

Una delle novità delle NTC è la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti, ove fornita la terna di valori ag. F_0 , T^*C per nove distinti periodi di ritorno T_r .

10.5 - Stati limite e relative probabilità di superamento

L'Eurocodice EC7 e le NTC prevedono, per la definizione del grado di sicurezza delle costruzioni un approccio di tipo semiprobabilistico, o di primo livello, adottando i **Coefficienti parziali di Sicurezza (CP)** ed il concetto di **Stato limite** che è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLE	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Gli **stati limite ultimi (SLU) dinamici** sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**)
- Stato limite di prevenzione del Collasso (**SLC**)

Gli **stati limite di esercizio (SLE) dinamici** sono:

- Stato limite di Operatività (**SLO**)

- Stato limite di Danno (**SLD**)

La VERIFICA DI SICUREZZA nei confronti degli STATI LIMITE ULTIMI (SLU) di resistenza si ottiene con il “Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali” di sicurezza tramite l'equazione :

$$R_d \geq E_d$$

Con

R_d = resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate.

E_d = valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto nelle varie combinazioni di carichi

La VERIFICA DI SICUREZZA nei confronti degli STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito dalle NTC:

- Nei confronti di tutti gli stati limite ultimi (SLU) quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV (Stato limite di salvaguardia della vita)
- Nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio (SLE) quando siano rispettate le verifiche relative al solo SLD (Stato limite di Danno).

10.6 - Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

Vita Nominale V_N

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tabella sottostante tratta da Tab. 2.4.I delle NTC 2008

Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

(Tab. 2.4.I, NTC)

¹ Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento ad un'interruzione di operatività o di eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 Classi d'uso (corrispondenti alle Calssi di importanza di EC8) così definite:

Classe I: Costruzioni il cui uso preveda **presenza solo occasionale di persone**

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda **normali affollamenti**

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda **affollamenti significativi**

Classe IV: Costruzioni con **funzioni pubbliche o strategiche importanti**

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R .

Il periodo di riferimento si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U

$$V_R = V_N * C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso come nella tabella sintetica sottostante:

Tabella C8.1 Periodo di riferimento dell'azione sismica $V_R = V_N C_U$ (anni)						
		Classe d'uso →	I	II	III	IV
		Coeff. C_U →	0,70	1,00	1,50	2,00
TIPI DI COSTRUZIONE		V_N	V_R			
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10	35	35	35	35
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50	35	50	75	100
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100	70	100	150	200

10.7 - Categorie di sottosuolo e categorie topografiche

Categorie di sottosuolo individuate

A. *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* con strati di alterazione superficiale di spessore max 3 m: $V_{s30} > 800$ m/s

B. *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessore > 30 m ($N_{spt,30} > 50$ o $c_{u,30} > 250$ kPa): V_{s30} 360-800 m/s

C. *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessore > 30 m ($N_{spt,30}$ 15÷50; $c_{u,30}$ 70-250 kPa): V_{s30} 180-360 m/s

D. *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori > 30 m ($N_{spt,30} < 15$; $c_{u,30} < 70$ kPa): $V_{s30} < 180$ m/s

E. *Terreni dei sottosuoli di tipo C, D* per spessore < 20 m, giacenti su substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s

Categorie che richiedono studi speciali dell'azione sismica:

S1. Depositi che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche, caratterizzati da $V_{s30} < 100$ m/s ($c_{u,30}$ 10÷20 kPa)

S2. Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, depositi di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

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 $i > 30^\circ$

10.8 - Valutazione Pericolosità Sismica Locale per il Comune di Ponte San Pietro

Per l'area di indagine oggetto del presente studio in riferimento alle tabelle del paragrafo 9.7 si individua quanto segue

Parametri	Valore
Tipo di costruzione	2
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	1,0
Vita Nominale	50

Dalle indagini penetrometriche e sismiche effettuate sull'area (esposte nel capitolo successivo), risulta che l'area di indagine presenta una litologia attribuibile alla categoria di sottosuolo B. Pertanto il V_{s30} risulta rientrare in valori 360-800 m/s (B).

Dove V_{s30} = velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio.

Dal punto di vista delle condizioni topografiche l'area in esame è ubicata su un area pianeggiante, pertanto la zona ricade nella **Categoria T1**.

11 - INDAGINE SISMICA DELL'AREA EX-LEGLER IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)

11.1 - La pericolosità sismica - inquadramento del territorio del comune di Ponte San Pietro (BG)

La pericolosità sismica esprime lo scuotimento del suolo atteso, in senso probabilistico, in un dato sito. Ciò può avvenire con una certa probabilità di eccedenza di intensità in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento sismico avvenga in un dato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi nell'ottica sismica (quali il catalogo dei terremoti, la definizione delle zone sorgente, le relazioni di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri che determinano lo scuotimento, quali per esempio lo scuotimento in accelerazione o spostamento, il tipo di suolo, il tempo.

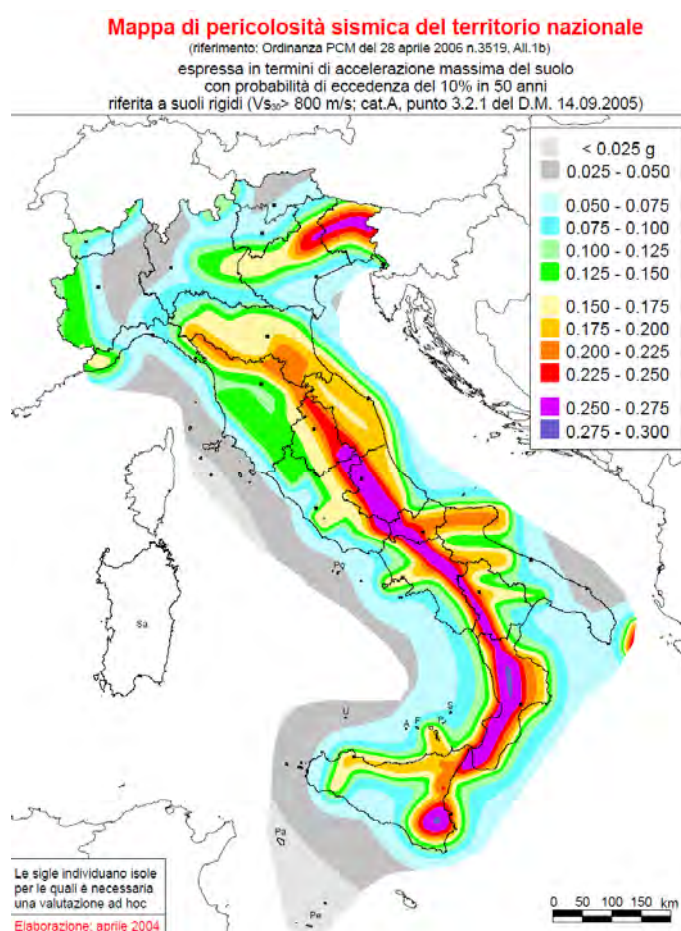


Figura 3 - Pericolosità sismica d'Italia. Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04)

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003) ha avuto inizio un processo per la stima della pericolosità sismica secondo dati, metodi, approcci aggiornati e condivisi e utilizzati a livello internazionale. E' stato definito il tipo di prodotti da rilasciare e l'applicazione dei risultati. L'INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia d'Italia si è fatto promotore di una iniziativa scientifica che ha coinvolto anche esperti delle Università italiane e di altri centri di ricerca. Questa iniziativa ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante.

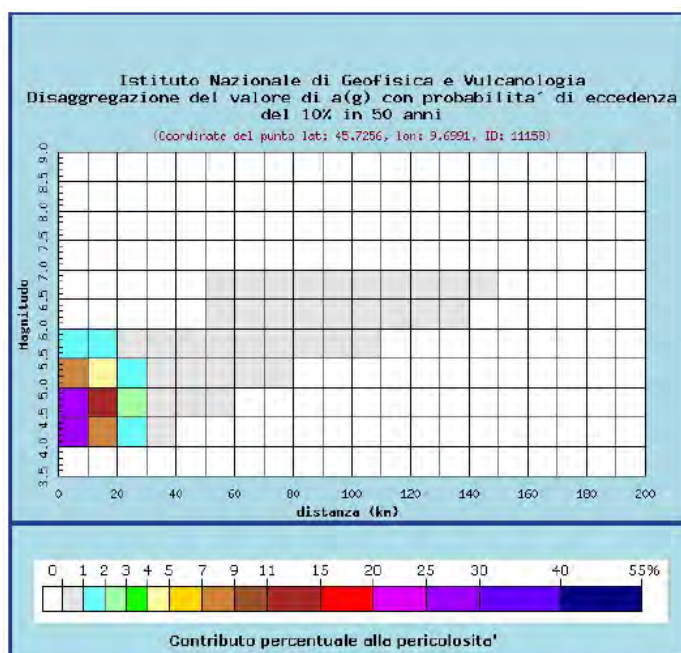
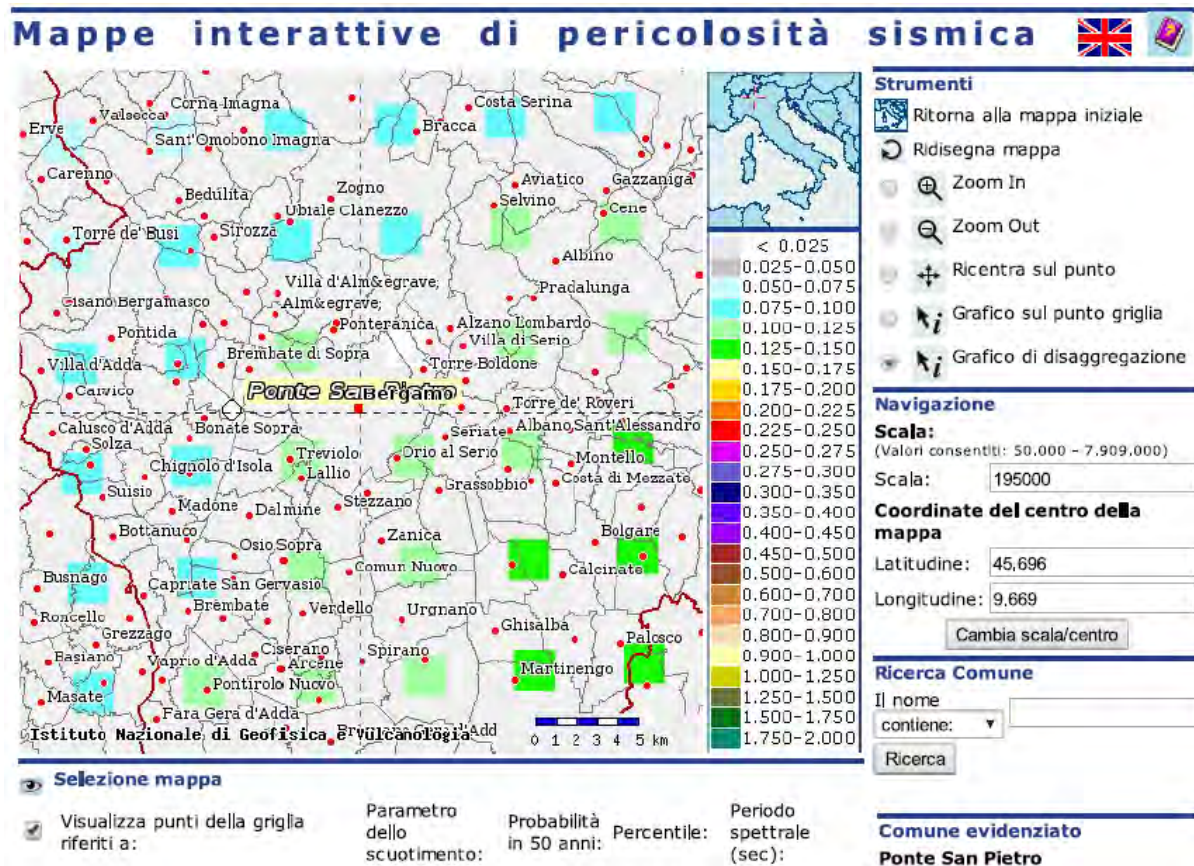
Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

La legislazione nazionale prevede che l'aggiornamento delle zone sismiche spetti alle singole Regioni e Province Autonome, sulla base di criteri definiti a scala nazionale. In seguito all'Ordinanza PCM 3519/2006, le Regioni e Province Autonome che volessero aggiornare tale elenco devono basarsi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04 per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra. La situazione aggiornata delle zone sismiche è disponibile nel sito del Dipartimento della Protezione Civile.

Successivamente, nell'ambito del progetto INGV-DPC S1 (2005-2007), sono state rilasciate una serie di mappe di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni, basate sullo stesso impianto metodologico e sugli stessi dati di input di MPS04. Inoltre sono state prodotte mappe per gli stessi periodi di ritorno anche in termini di accelerazioni spettrali. Per ogni punto della griglia di calcolo (che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) sono oltre 2200 i parametri che ne descrivono la pericolosità sismica. Questa mole di dati ha reso possibile la definizione di norme tecniche nelle quali l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto e non più solo per 4 zone sismiche, cioè secondo solo 4 spettri di risposta elastica.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da INGV e dal Progetto S1.

Ai sensi della normativa il territorio comunale di Ponte San Pietro risulta essere caratterizzato da valori di accelerazione sismica attesa in superficie su suolo rigido Ag compreso nell'intervallo 0,100 – 0,125 g.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.7256, lon: 9.6991, ID: 11158)										
	Magnitudo										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0,000	25,800	29,600	8,140	1,660	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10-20	0,000	7,290	11,600	4,970	1,420	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20-30	0,000	1,360	2,980	1,900	0,731	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
30-40	0,000	0,115	0,585	0,579	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
40-50	0,000	0,000	0,075	0,202	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
50-60	0,000	0,000	0,002	0,069	0,112	0,071	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000
60-70	0,000	0,000	0,000	0,014	0,072	0,075	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
70-80	0,000	0,000	0,000	0,001	0,030	0,049	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
80-90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,028	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
90-100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,015	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
100-110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
110-120	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
120-130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
130-140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
140-150	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
150-160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
160-170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
170-180	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
180-190	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
190-200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.730	9.770	0.350

Figura 4 - Mappa interattiva di pericolosit  sismica, INGV Italia, per il territorio di Ponte San Pietro (BG).

11.2 - Parametri di sito specifici - Parametri geofisici di velocit  delle onde di taglio orizzontali

L'indagine geofisica realizzata in sito consente di individuare il modello geofisico di rigidit  degli strati del sottosuolo. Attraverso la misura della velocit  delle onde di taglio orizzontali [Vs 30 m], ai sensi della normativa vigente Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. 14/01/2008, l'area   stata studiata attraverso la predisposizione di due profili di misura (Profilo 1, Profilo 2). Le aree di misura scelte sono rappresentative di tutta l'area dello stabilimento.

L'ubicazione dei rilievi effettuati si trova illustrata nella Tavola allegata.

AREA D'INDAGINE – PROFILO 1

PROFILO 1 - [Vs30 m]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
140.04	-1.07	1.07
207.98	-3.21	2.14
344.54	-6.45	3.24
478.42	-10.71	4.26
510.55	-16.07	5.36
526.61	-22.50	6.43
540.00	-30.00	7.50

VS_{30 m} = 411,8 m/s

Tabella 1 - Area d'indagine. Profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.

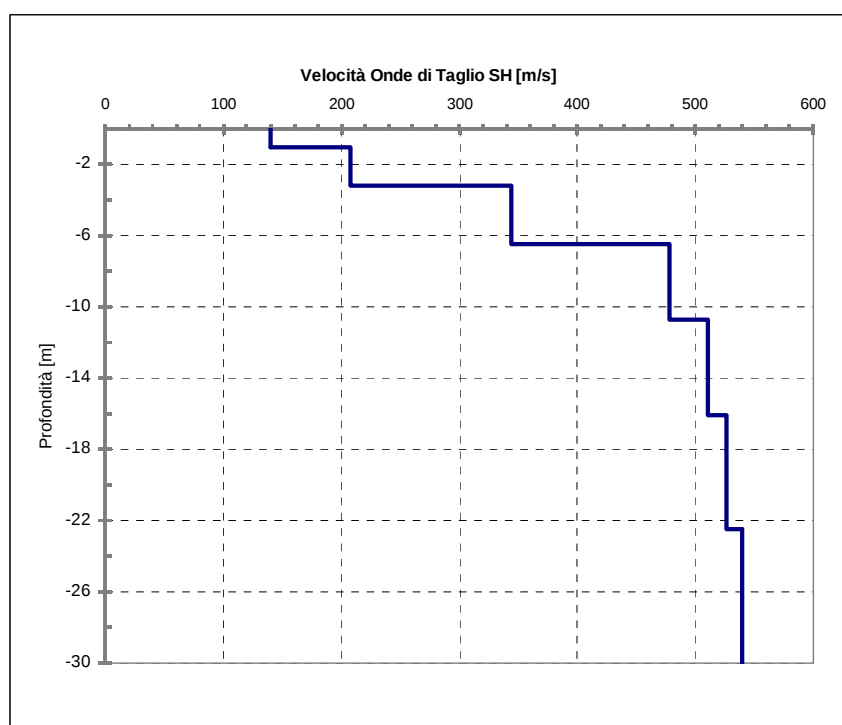


Figura 5 - Area d'indagine. Grafico del profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.

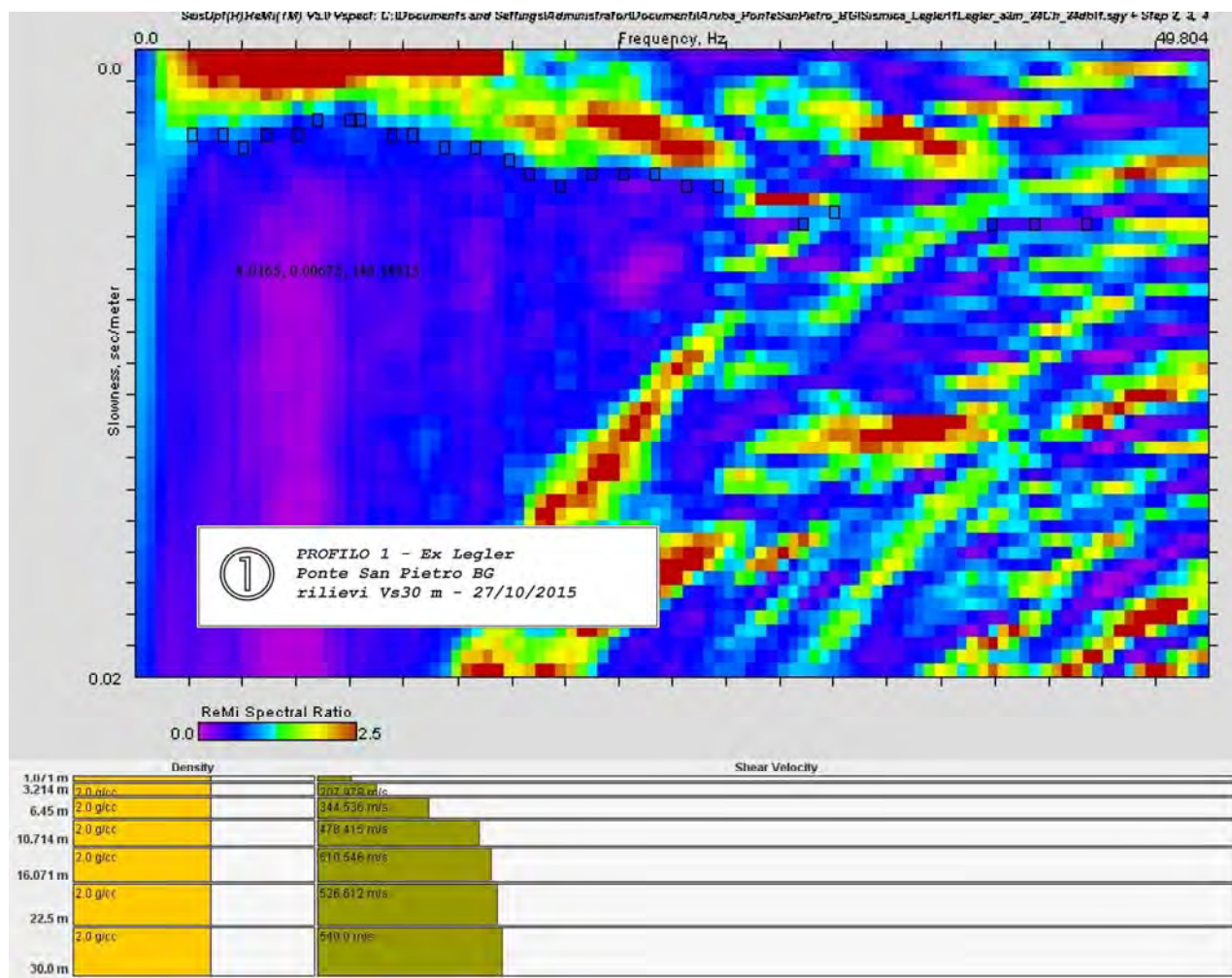


Figura 6 - Area d'indagine. Dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

L'interpretazione delle misure geofisiche realizzate nell'area consente di definire le caratteristiche litologiche fisiche di rigidità dei depositi naturali compatibili con la Categoria di suolo descritta nella seguente Tabella.

B. Sabbie e ghiaie molto addensate, argille ($N_{spt} > 50$ o $c_u > 250$ kPa): V_{s30} 360-800 m/s

Tabella 2 - Area d'indagine Profilo 1. Inquadramento della Categoria di suolo del sito ai sensi D.M.14/01/2008.

Si individua una modesta discontinuità sensibile (*bedrock like*) che genera una frequenza di risonanza di sito compatibile con i valori calcolati analiticamente nella seguente Tabella.

n.	Colonna stratigrafica	Periodo proprio deposito T_0 [s]	Frequenza risonanza $F_0 = (1/T)$ [Hz]
AREA T_{01}	Substrato sensibile - <i>Bedrock like</i> = 6,45 m da inversione Analisi spettro <i>Louie, 2001</i> V_s 6,45 m = 235,95 T (s) = $4H/V_s = 4 \times 6,45 / 235,95 =$	0,11	9,14

Tabella 3 - Valutazione analitica del *Periodo di risonanza* di sito T .

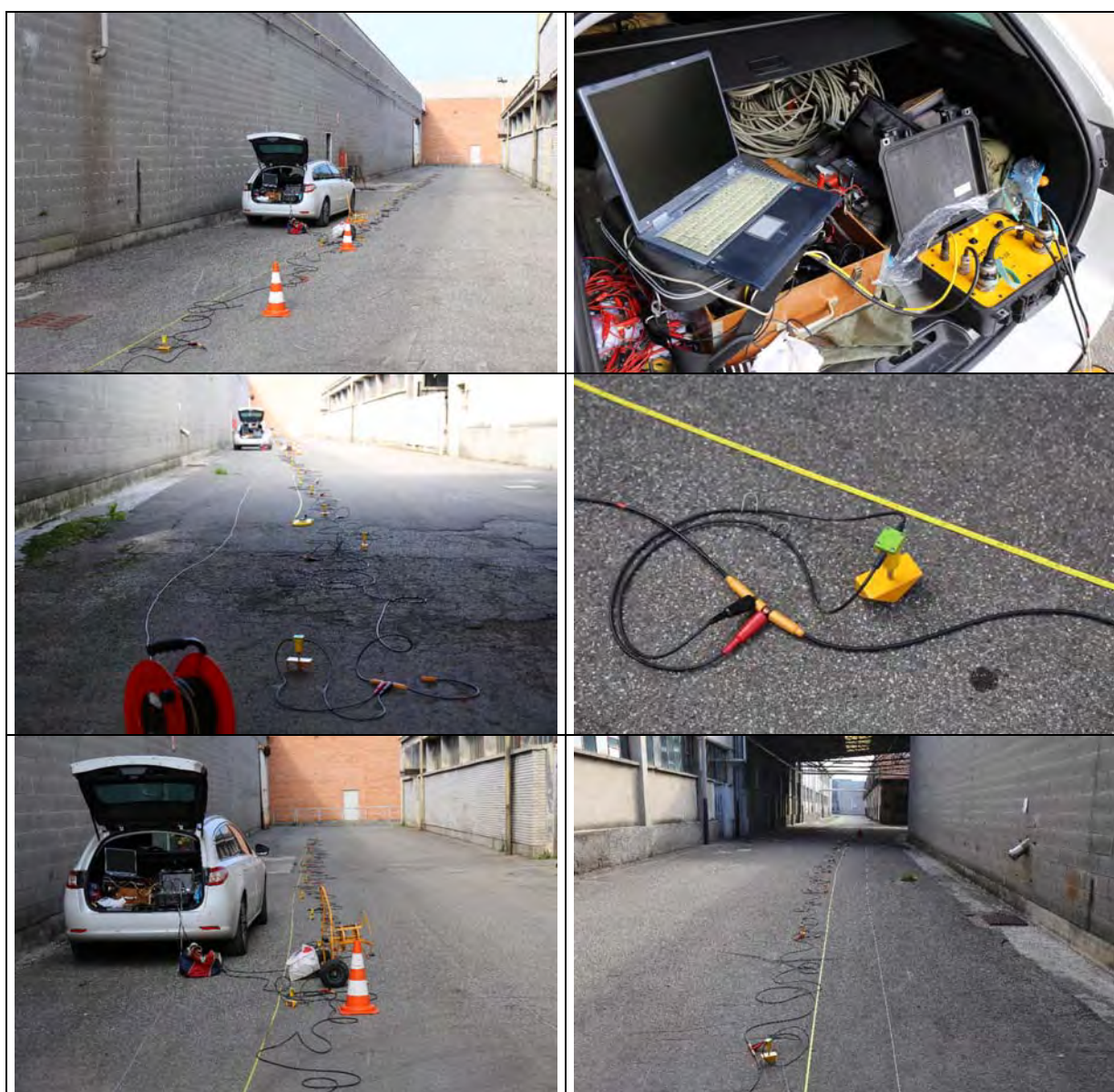
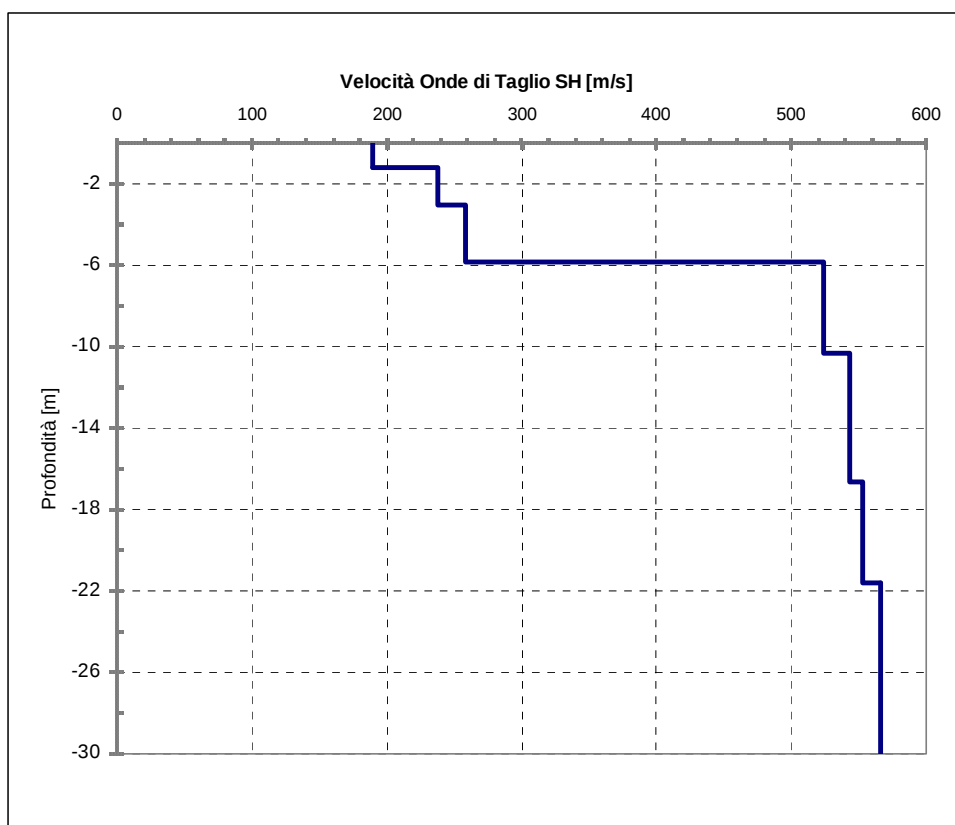


Figura 7 - Profilo 1. Misura in sito delle onde di taglio orizzontali V_s 30 m.

AREA D'INDAGINE – PROFILO 2

PROFILO 2 - [Vs30 m]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
189.23	-1.20	1.20
237.43	-3.00	1.80
258.85	-5.85	2.85
523.93	-10.35	4.50
542.68	-16.65	6.30
553.39	-21.60	4.95
566.78	-30.00	8.40

$V_{S30\text{ m}} = 435,4\text{ m/s}$

Tabella 4 - Area d'indagine. Profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.**Figura 8** - Area d'indagine. Grafico del profilo di velocità Vs delle onde di taglio orizzontali.

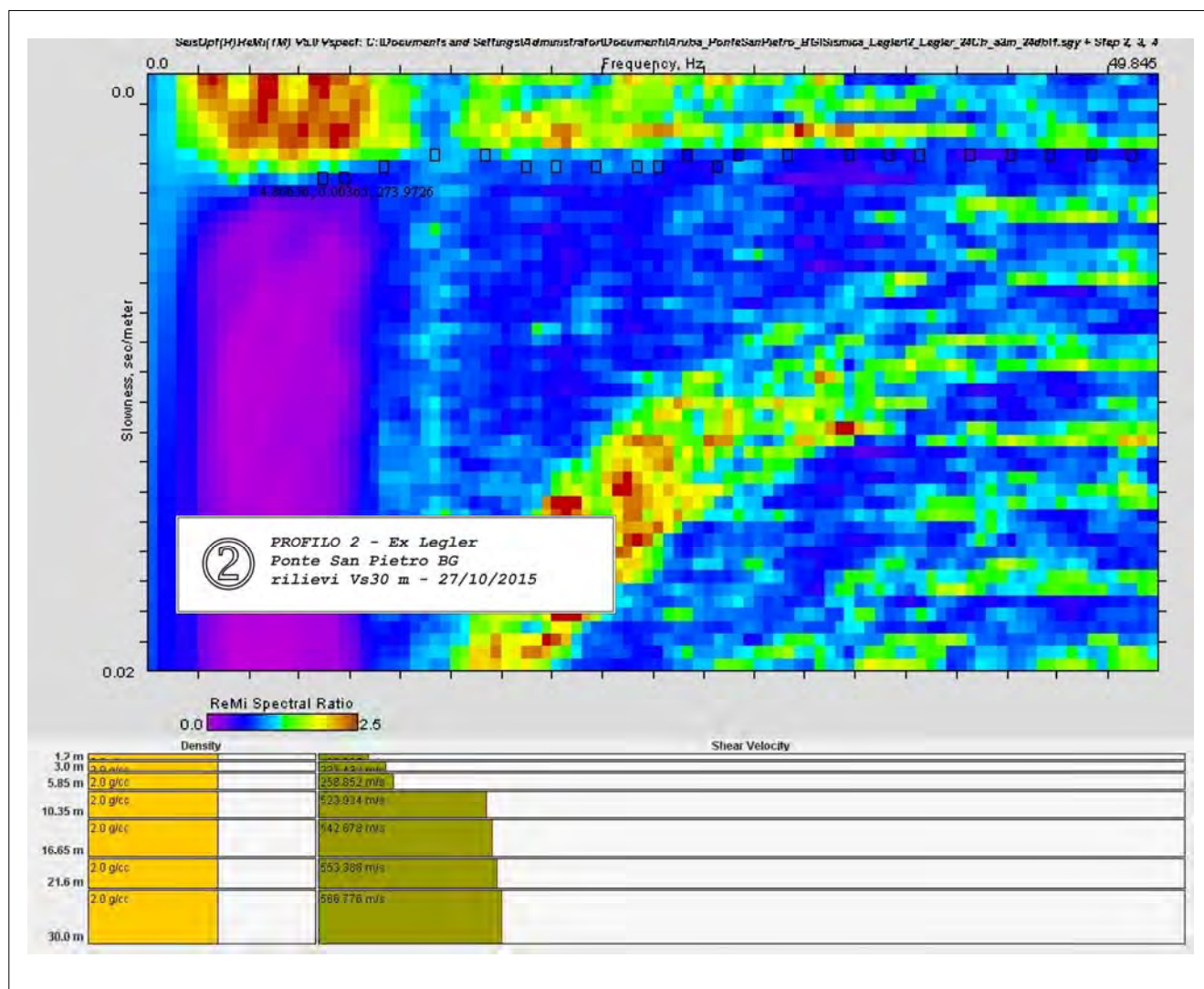


Figura 9 - Area d'indagine. Dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

L'interpretazione delle misure geofisiche realizzate nell'area consente di definire le caratteristiche litologiche fisiche di rigidità dei depositi naturali compatibili con la Categoria di suolo descritta nella seguente TABELLA.

B. Sabbie e ghiaie molto addensate, argille (Nspt >50 o cu >250 kPa):

V_{s30} 360-800 m/s

Tabella 5 - Area d'indagine Profilo 2. Inquadramento della Categoria di suolo del sito ai sensi D.M.14/01/2008.

Si individua una modesta discontinuità sensibile (*bedrock like*) che genera una frequenza di risonanza di sito compatibile con i valori calcolati analiticamente nella seguente Tabella.

n.	Colonna stratigrafica	Periodo proprio deposito T_0 [s]	Frequenza risonanza $F_0 = (1/T)$ [Hz]
AREA T_{01}	Substrato sensibile - <i>Bedrock like</i> = 5,85 m da inversione Analisi spettro Louie, 2001 V_s 5,85 m = 234,63 T (s) = $4H/V_s = 4 \times 5,85 / 234,63 =$	0,10	10,02

Tabella 6 - Profilo 2- Valutazione analitica del *Periodo di risonanza* di sito T .



Figura 10 - Profilo 2. Misura in sito delle onde di taglio orizzontali V_{s30} m.

11.3 - Metodologia di indagine: MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE [ReMi] + Analisi multicanale di onde di superficie [MASW]

La misura diretta dei parametri geofisici per la definizione del profilo delle *ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI* è stata realizzata attraverso la tecnica dei MICROTREMORI SISMICI AMBIENTALI [ReMi – REFRACTION MICROTREMOR] e dell' ANALISI MULTICANALE DI ONDE DI SUPERFICIE [MASW – MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES].

L'indagine geofisica è stata strutturata attraverso l'acquisizione dei dati di campagna in fasi di misura. Ciò al fine di esplorare il sottosuolo attraverso un insieme di misure statisticamente significative. E' seguita l'elaborazione, l'interpretazione dei dati con illustrazione dei risultati conclusivi sopra descritti.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre e dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento), dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel *campo vicino* (10^{-15} $[m/s^2]^2$) in termini di accelerazione.

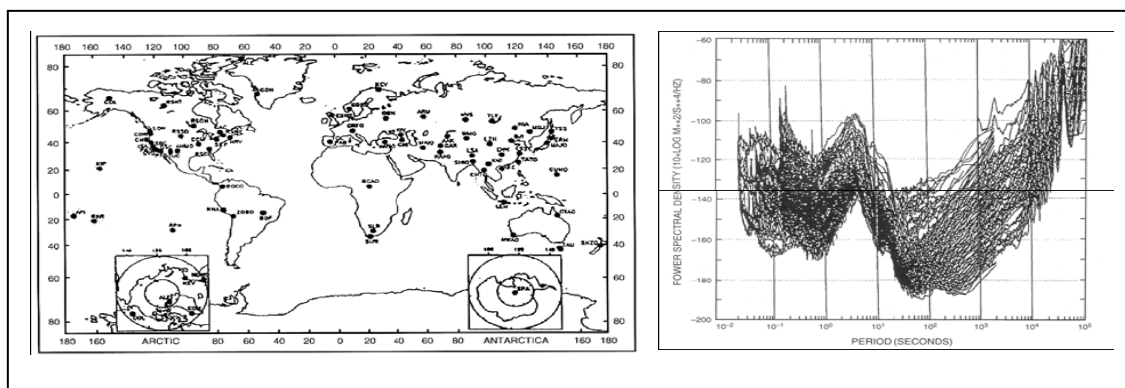


Figura 11 - Potenze spettrali di accelerazione della componente verticale dei microtremori (a destra) registrate in 75 osservatori sismici distribuiti su tutto il globo terrestre (Peterson, 1993)

I metodi che si basano sull'acquisizione naturale di questo tipo di vibrazioni, si inquadrano tra i metodi d'indagine della sismica *passiva*, in quanto il *rumore* non è generato *artificialmente*, come ad esempio avviene per la sismica *attiva* attraverso l'uso di esplosivi o urti di masse in moto trasmesse al mezzo d'indagine.

Nelle zone del globo terrestre in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale ed in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, presenta la morfologia illustrata in Figura 12. La linea blu rappresenta il rumore di fondo *minimo* di riferimento, secondo il servizio geologico statunitense (USGS), mentre la linea verde rappresenta il *massimo* dello stesso

rumore. I picchi a 0.14 [Hz] e 0.07 [Hz] sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Queste componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo avere percorso migliaia di chilometri, per effetto della propagazione in *guida d'onda*. A questo fenomeno generale, che è sempre presente sul globo terrestre, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori ai 20 [Hz] a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

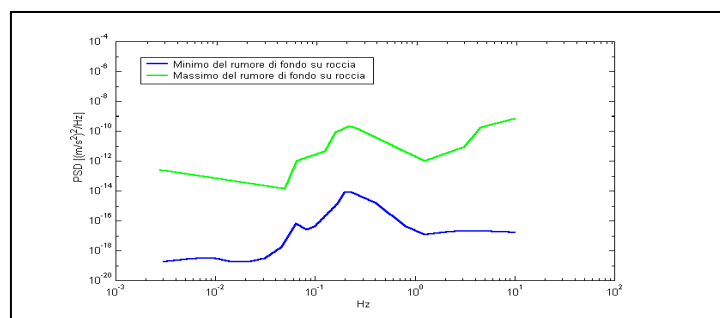


Figura 12 - Figura B - Modelli standard del rumore sismico ambientale: massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

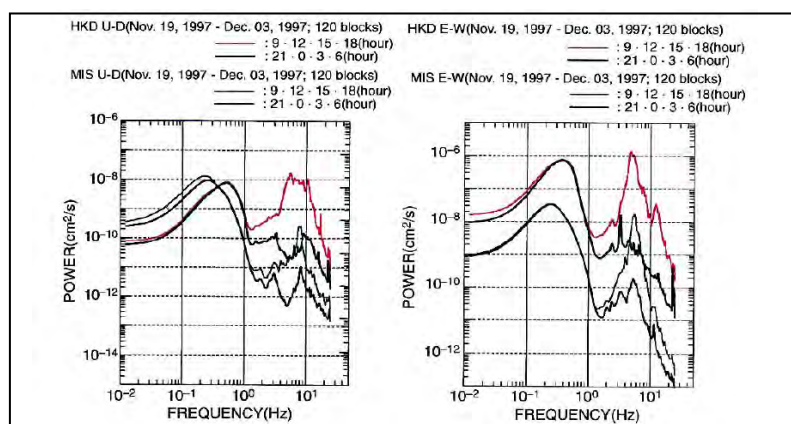


Figura 13 - Medie diurne e medie notturne degli spettri di potenza delle componenti verticale (U-D) e orizzontale (E-W) dei microtremori registrati nel periodo di 15 giorni, dal 19 novembre al 3 dicembre 1997, in due stazioni sismiche [HKD] e [MIS] di Sapporo (da Okada, 2003).

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza* tra gli *strati* del sottosuolo. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per la presenza di una variazione di *impedenza*, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

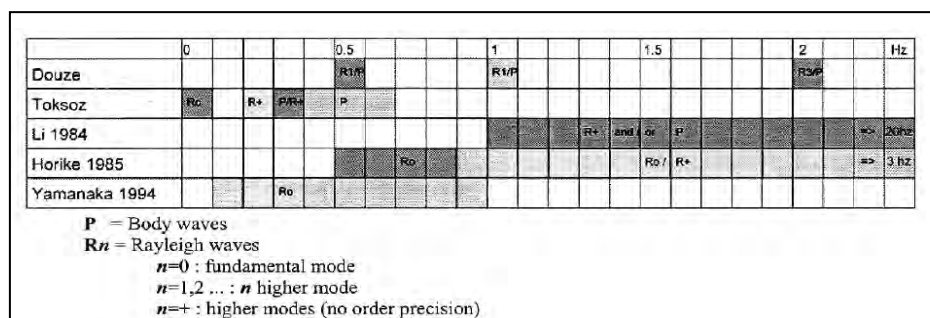


Figura 14 - Origine della natura del campo d'onda secondo vari Autori (Sesame WP8, 2004).

11.3.1 - Determinazione della curva di dispersione delle onde Rayleigh

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva consentono di valutare si basa sul concetto di contrasto di *impedenza* esistente nella successione delle unità "fisiche" stratigrafiche costituite dai depositi naturali del sottosuolo. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta, da quelle sopra e sottostanti, da un contrasto di *impedenza*; ossia la distinzione avviene per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

La curva di dispersione delle *onde di Rayleigh* è strettamente correlata al profilo di velocità delle onde di taglio S orizzontali. Poiché inoltre $0.87 < V_R / V_S < 0.96$ (Aki e Richards, 1980), al fine di ottenere l'andamento delle V_S con la profondità, la curva di dispersione sperimentale viene analizzata con una procedura di inversione. La frequenza minima cui la curva di dispersione risulta riconoscibile vincola la profondità d'indagine.

La procedura richiede che il microtremore sismico sia relativamente omogeneo intorno al sito di misura; che il modello di sottosuolo sia assimilabile al caso di strati piani e paralleli e che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito.

Se i requisiti geometrici non sono soddisfatti, i risultati forniti dall'*array* vanno interpretati come valori medi nell'intorno investigato.

Si fa notare che in relazione a questo modello le V_P e la densità ρ dei mezzi sono quasi influenti. Pertanto i valori di V_P e ρ che compaiono nelle tabelle vanno considerati come indicativi.

Le componenti naturali [REM] ed indotte artificialmente dalla superficie [MASW] del moto del suolo registrate vengono elaborate attraverso le procedure che consentono

di ottenere la curva di dispersione delle *onde di Rayleigh* (relazione tra la velocità di propagazione e le frequenze).

Le tracce vengono segmentate in finestre temporali nel dominio frequenza-velocità di fase (*trasformata ω -V*, o *slant-stack*, *trasformata di Fourier*) al fine di discriminare l'energia associata alle *onde di Rayleigh*, secondo il metodo *Refraction Microtremor*. Viene analizzato l'esito dell'elaborazione in ciascuna finestra e vengono quindi selezionate quelle informative. Il risultato è ottenuto dalla media delle analisi delle finestre selezionate (*REFRACTION MICROTREMOR, Louie, 2001*).

Il risultato dell'analisi è rappresentato attraverso il contenuto energetico delle onde di Rayleigh presente nel rumore sismico ambientale, in funzione della frequenza e della velocità di fase di propagazione dell'onda di superficie. Si stima, secondo la letteratura scientifica in relazione alla strumentazione utilizzata di ottimo livello tecnologico ed ai parametri ambientali variabili che ne influenzano la risoluzione, generalmente una tolleranza nella valutazione della velocità delle velocità Vs pari a circa il 5% nei primi strati del sottosuolo; fino a circa il 15% per gli strati più profondi.

Le Figure illustrano il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Nelle Tabelle sono riportati i valori del miglior modello di *adattamento* interpretato dall'inversione dei dati. Il computo del parametro Vs30, secondo le *Norme Tecniche per le Costruzioni* (D.M.14/01/2008), è calcolato utilizzando la formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum \frac{h_i}{V_{si}}$$

in cui h_i e V_{si} sono spessori e velocità dei singoli strati.

12 - INDAGINE GEOELETTRICA DELL'AREA EX LEGLER, PONTE SAN PIETRO (BG)

12.1 - Metodo della tomografia elettrica [R&I.P.]

Una parte dell'area, in particolare il settore a nord retrostante i fabbricati, adiacente al versante del Fiume Brembo, è stata indagata attraverso una sezione geoelettrica finalizzata alla individuazione della continuità laterale stratigrafica dei depositi ed alla verifica di eventuali presenze di terreni e materiali di riporto anomali inferiormente alla superficie topografica.

E' stato applicato il metodo della tomografia elettrica [Imaging DC Resistivity & Induced Polarization, ERT]. Esso consiste nella misura, effettuata con particolare tecnica, della *conducibilità elettrica* del terreno indagato. La *conducibilità* è funzione principalmente della natura chimica (i vari tipi di rocce e di terreni presenti in natura, la differenziazione della porosità propria, i vari materiali o composti eventualmente presenti nel terreno) ed elettrolitica (presenza o meno d'acqua, di umidità, di composti a conducibilità ionica, di sali disciolti, di elementi o composti chimici) delle rocce e dei terreni stessi. La "caricabilità" del terreno (*Polarizzazione Indotta*) consiste nella misura del tempo di decadimento (*decay time*) del potenziale applicato, susseguente all'interruzione della corrente immessa, cioè nella misura della "caricabilità" residua trattenuta dal mezzo d'indagine sottoposto a corrente. Anche tale grandezza risulta variabile in funzione soprattutto della natura del terreno e della roccia attraversati.

I dati, dopo adeguata valutazione con eliminazione delle misure anomale, sono stati elaborati con il metodo dei *minimi quadrati* attraverso il software RES2DINV (*Rapid 2-D resistivity & IP inversion using the least-squares method*, M.H. LOKE, 2000; DEGROOT-HEDLIN & CONSTABLE, 1990; SASAKI 1992).

L'efficacia che il metodo ha dimostrato nello studio di casi analoghi è dovuta alla differenziazione a cui i terreni, le rocce, i materiali e le strutture antropiche, che si incontrano nei primi strati del sottosuolo e che si trovano spesso interrati in condizioni simili, sono caratterizzate da diverso grado di resistività elettrica, permeabilità elettrica e magnetica, tempo di "rilassamento" elettromagnetico.

RESISTIVITY & INDUCED POLARIZATION IMAGING SYSTEM	Trasmittente T_x Tensione di eccitazione: 400 V (800 V picco-picco) Output: 100 W Accuratezza corrente trasmessa: $\geq 0,5\%$ a 100 mA Lunghezza pulsazione: 0,1-0,4 Ciclo commutato in DC Resistività mode: plus-minus-minus-plus IP mode : plus-zero-minus-zero Ricevitore R _x multicanale per sistema multielettrodo Resistività mode Impedenza Input: > 10 M Ω Risoluzione: ± 30 nV (8 sec integrale di tempo) Accuratezza $\Delta V/\Delta I$ (0,5 sec integrale di tempo): >1% a 1 Ω da 1 mA a 1000 mA con carico resistivo da 0-380 k Ω Induced Polarization mode Impedenza Input: >10 M Ω Automatic Ranging ± 250 mV, ± 10 V, ± 400 V Risoluzione: ± 30 nV Tipo di misura: Time domain chargeability (M) Intervallo di base di integrale: 20 msec o 16,67 msec differenziato per frequenza di rete di potenza locale
--	---

Tabella 7 - Caratteristiche tecniche principali della strumentazione utilizzata.

12.2 - Considerazioni per il caso specifico

La zona sottoposta ad esplorazione è stata pianificata secondo una sezione sistematica e significativa che ha coinvolto tutto il sottosuolo dell'area.

La ricerca è consistita nelle seguenti fasi:

- indagine geofisica;
- trattamento (*processing*) dei dati geofisici e definizione di aree del terreno "geofisicamente" omogenee;
- interpretazione dei dati;
- costruzione di un modello strutturale locale, supportato dai dati diretti disponibili a taratura, nel peculiare contesto dell'obiettivo dell'indagine.

In particolare la sezione presenta il seguente orientamento:

Sezione N. 1 [TE 1] = orientamento Sud – Nord circa; l'ubicazione si trova illustrata nella TAVOLA allegata ([Ved. Tav. 11](#)) .

La sezione è stata configurata con un dispositivo costituito da elettrodi infissi nel terreno. La sezione ha coinvolto circa 190 m di terreno in lunghezza, circa 30-40 m in larghezza; una profondità di circa 40 m.

La scala verticale delle rappresentazioni è stata riferita alla quota [quota 0,00 m] della superficie dell'area.

Sul terreno sono stati individuati alcuni punti significativi di riferimento topografico.

In particolare, il dispositivo strumentale applicato è stato impostato per il raggiungimento di un efficiente grado di dettaglio di studio del sottosuolo negli strati più superficiali in relazione alla profondità d'esplorazione ritenuta utile per lo scopo della presente.

12.3 - Risultati emersi dall'indagine

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati consente di formulare alcune considerazioni che sono di seguito riportate ed illustrate nelle cartografia allegata che costituisce parte integrante della presente relazione.

Sulla base dell'esperienza derivante da precedenti studi analoghi effettuati in aree limitrofe, nonché così come illustrata dalla teoria della letteratura scientifica inerente la metodologia adottata e disponendo inoltre di punti a taratura, si evince per la presente indagine una profondità d'indagine massima di 40 m dal piano campagna.

L'indagine geofisica non ha evidenziato la presenza di anomalie nella normale dispersione degli impulsi elettrici irradiati nel terreno. La differenziazione della distribuzione della resistività elettrica si trova in corrispondenza delle discontinuità stratigrafiche naturali.

Le due zone di anomalia superficiale sono riconducibili alla presenza del cavidotto di servizio intercettato nell'area.

In dettaglio le risultanze dell'indagine geofisica sono così descritte.

La cartografia illustra la morfologia dei limiti stratigrafici del sottosuolo caratterizzati da una generale omogeneità laterale orizzontale di detti limiti.

La successione stratigrafica geofisica è così individuabile:

- **GEOLITOLOGIA UNITÀ 1:** caratterizza il primo spessore dei depositi sciolti a ghiaia limosa. Resistività elettrica media = 400-500 [Ohm·m].

Si rilevano all'interno di questa geolitologia, le zone di anomalia compatibili con la presenza di cavità superficiali riconducibili ai sottoservizi.

Non si rilevano all'interno di questa geolitologia, significative zone di anomalia riconducibili a interramenti di materiali o depositi alterati.

● **GEOLITOLOGIA UNITÀ 2:** caratterizza il secondo strato del sottosuolo ed è compatibile con la presenza di conglomerati in condizione di non-saturazione in acqua. Resistività elettrica media = 400-2000 [Ohm·m].

Non si rilevano all'interno di questa geolitoologia, significative zone di anomalia riconducibili a interramenti di materiali o depositi alterati.

● **GEOLITOLOGIA UNITÀ 3:** caratterizza il terzo strato del sottosuolo ed è compatibile con la presenza di conglomerati, ghiaie e limi in condizione di saturazione in acqua. Resistività elettrica media = 70-250 [Ohm·m].

Non si rilevano all'interno di questa geolitoologia, significative zone di anomalia riconducibili a interramenti di materiali o depositi alterati.

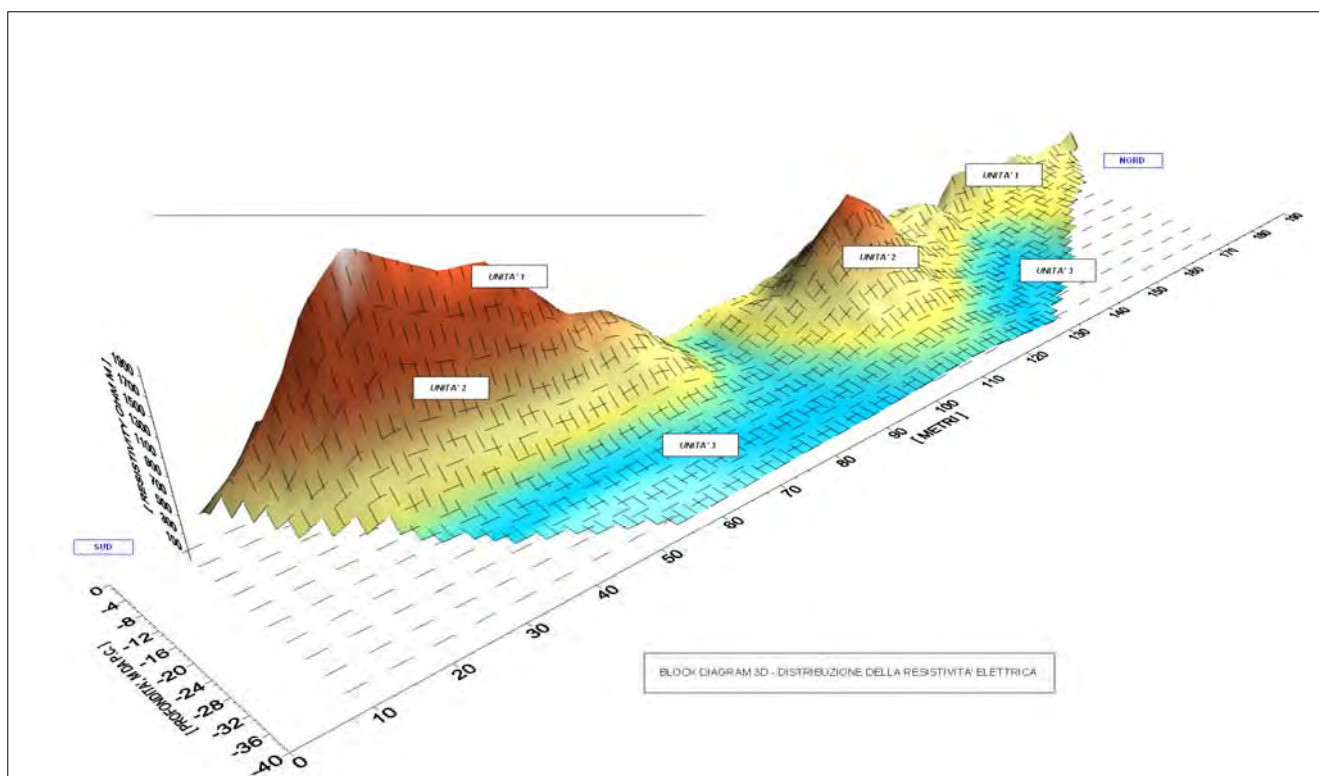


Figura 15 - Block Diagram. Rappresentazione 3D della distribuzione della resistività elettrica [R]. Sono evidenti le tre unità geofisiche individuate che sono compatibili con le seguenti litologie Unità 1 = depositi superficiali sciolti, Unità 2 = conglomerati, Unità 3 = conglomerati e ghiaie limose sature in acqua di falda.

A¹. Metodo di resistività e caricabilità in tomografia elettrica

Le prospezioni geoelettriche di resistività (*Direct Current Resistivity sounding o Méthode des Résistivité*) si basano, in generale, sugli effetti sotterranei di una corrente elettrica, rilevabili in superficie attraverso misure di differenza di potenziale o di corrente.

I minerali costituenti le rocce, nella loro originaria fase solida, sono pressoché degli isolanti perfetti.

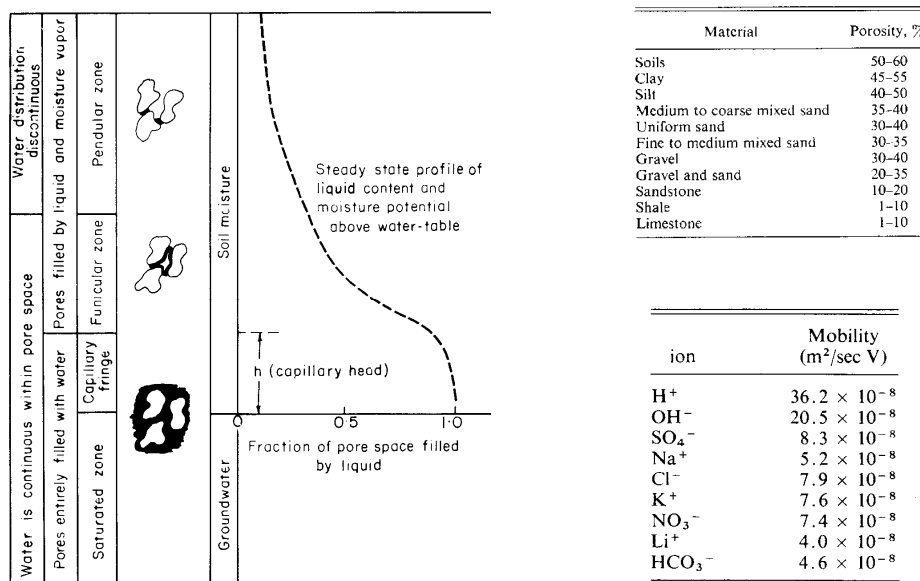


Fig. A1. La fase liquida nei terreni incoerenti (a sinistra). (da Meyboom, 1967) Intervalli di porosità delle rocce e principali ioni presenti naturalmente nei fluidi delle rocce (a destra). (da McNeill, 1980)

La resistività di un terreno, grandezza che esprime la sua attitudine all'attraversamento di una corrente elettrica, dipende dalla porosità, dal grado di imbibizione della roccia e dalla resistività dell'acqua o dei fluidi contenuti; quest'ultime, a loro volta, dipendono dalla temperatura e dal contenuto, dalla qualità e quantità dei sali disciolti. In definitiva la resistività di un terreno dipende da fattori che intervengono a strutturare e modificare le rocce, fattori di natura chimica e fisica costituenti le rocce ed i materiali.

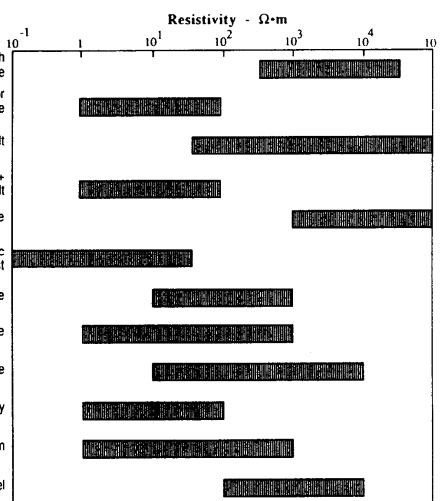
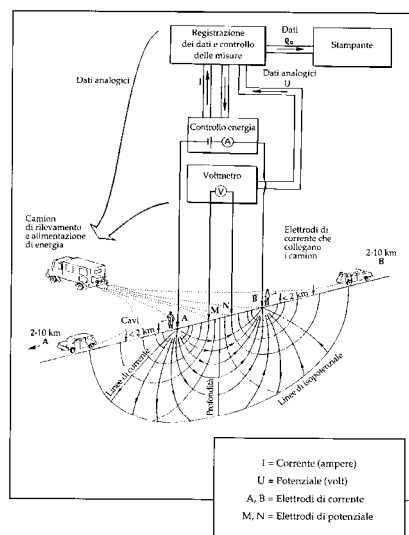


Fig. A2. Configurazione generale del metodo geoelettrico di resistività (a sinistra). (da Vogelsang, 1994). Intervalli tipici di resistività delle rocce (a destra). (da Culley et al., 1975)

Con il metodo di *resistività* in corrente continua *D.C. Resistivity* (in realtà la tecnica attuale utilizza corrente in frequenza capace sia di escludere i notevoli disturbi della corrente di rete di 50 Hz sia di prevenire effetti di *saturazione* elettrica del terreno che ne impediscono l'esplorazione in profondità) viene immessa nel sottosuolo, mediante due elettrodi (A, B), una corrente elettrica che determina una differenza di potenziale

Roccia/Materiale	Resistività (ohm-m)
Argille, marne, grasse	3 - 30
Argille, marne, magre	10 - 40
Argille sabbiose, sil	25 - 105
Sabbie con argille	50 - 300
Sabbia, ghiaia in falda	200 - 400
Sabbia, ghiaia asciutta	800 - 5000
Calcare, gesso	500 - 3500
Arenaria	300 - 3000
Granito	2000 - 10.000
Gneiss	400 - 6000
Rifiuti domestici	12 - 30
Fanghi industriali	40 - 200
Plume contaminato da rifiuti domestici	1 - 10
Olio esausto	150 - 700

Clay Alteration	↻	Weathering	↻
Dissolution	↻	Induration	↻
Faulting	↻	Carbonate Precipitation	↻
Salt Water Intrusion	↻	Silicification	↻
Shearing	↻	Metamorphism	↻
↻ Decreases	↻ Increases	↻ Increases or Decreases	

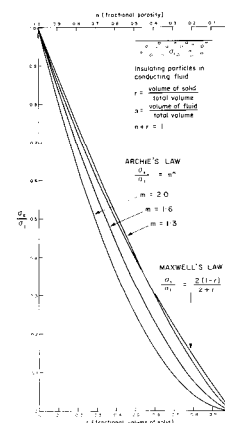


Fig. A3. Intervalli tipici di resistività di terreni, di rocce e di materiali di discarica (a sinistra, alto). Processi geologici che influenzano la resistività delle rocce (a sinistra). (da Ward, 1990). Rappresentazione della legge di Archie e della legge di Maxwell che esprimono la conducibilità in funzione della porosità del terreno. (da McNeill, 1980)

misurata mediante altri due elettrodi (M, N). Condizione fondamentale perché il metodo risulti efficace è che esista e sia elevato il contrasto di resistività tra gli oggetti dell'indagine.

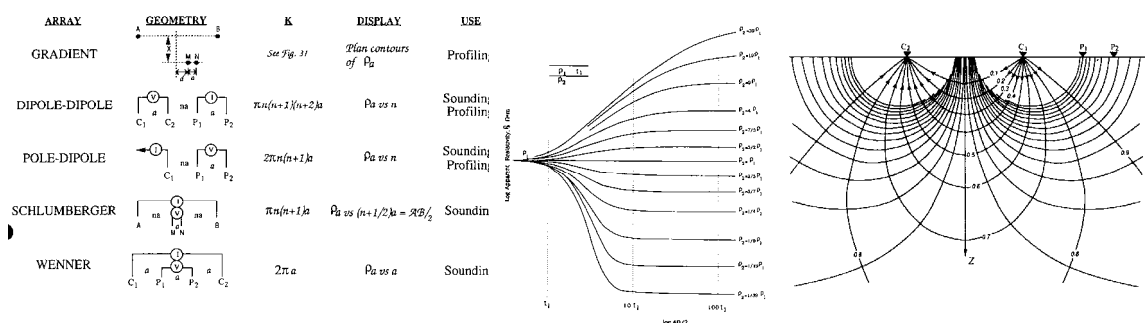


Fig. A4. Le configurazioni elettrode più utilizzate nei rilievi di misura di resistività e di caricabilità del terreno (a sinistra). (da Ward, 1990). Esempificazione di master curves di resistività, Schlumberger, modello a due strati (al centro). (da Cagniard, 1953). Distribuzione della corrente e delle linee equipotenziali in un terreno omogeneo intorno a due elettrodi (a destra). (da Van Nostrand & Cook, 1966)

Dai valori noti di corrente erogata, dalla configurazione geometrica degli elettrodi e dalla differenza di potenziale misurata si calcola analiticamente la *resistività apparente* dei terreni indagati e del loro stato fisico.

Le misure possono essere svolte sul terreno mediante due schemi generali: distanziando via via gli elettrodi e mantenendo grosso modo fisso il centro della configurazione per la misura del potenziale.

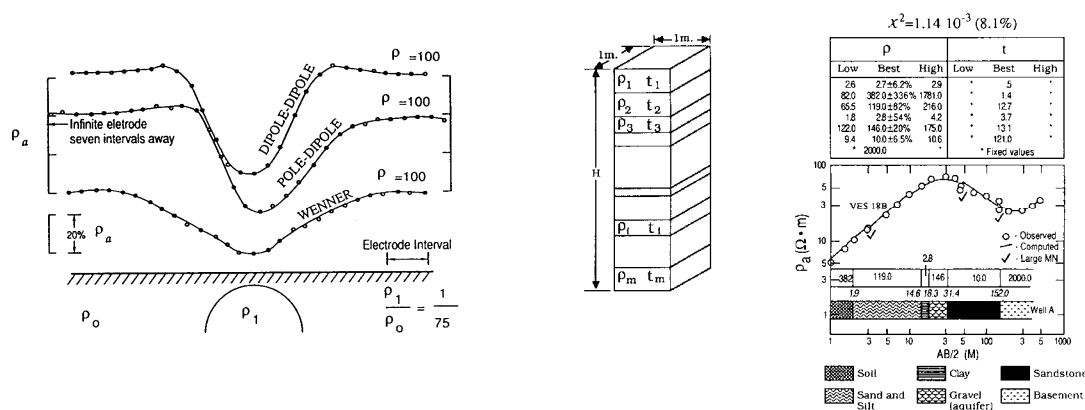


Fig. A5. Confronto tra profili di resistività ottenuti con configurazioni elettrode diverse su una sfera sepolta (a sinistra). (da Sumner, 1976). Modello teorico di terreno pluristratificato di resistività ρ e spessore t (al centro). (da Ward, 1990). Interpretazione a 7 strati di un Sondaggio Elettrico Verticale, tipo Schlumberger (a destra). (da Rijo et al., 1977)

Si ottiene in tale modo una profondità di esplorazione via via maggiore (Sondaggi Elettrici Verticali); oppure, mantenendo fissa una configurazione, essa viene spostata per intero sul terreno in modo da sviluppare dei profili nell'area d'indagine. In tal

modo si ottiene una misura delle variazioni laterali di *resistività* (Sondaggi Elettrici Orizzontali). I valori calcolati di *resistività* apparente vengono opportunamente rappresentati graficamente ed elaborati attraverso *software* specifici per il confronto delle curve sperimentali con curve di *resistività* teoriche ("abachi delle curve di *resistività* tipo" o *master curves*) per l'interpretazione.

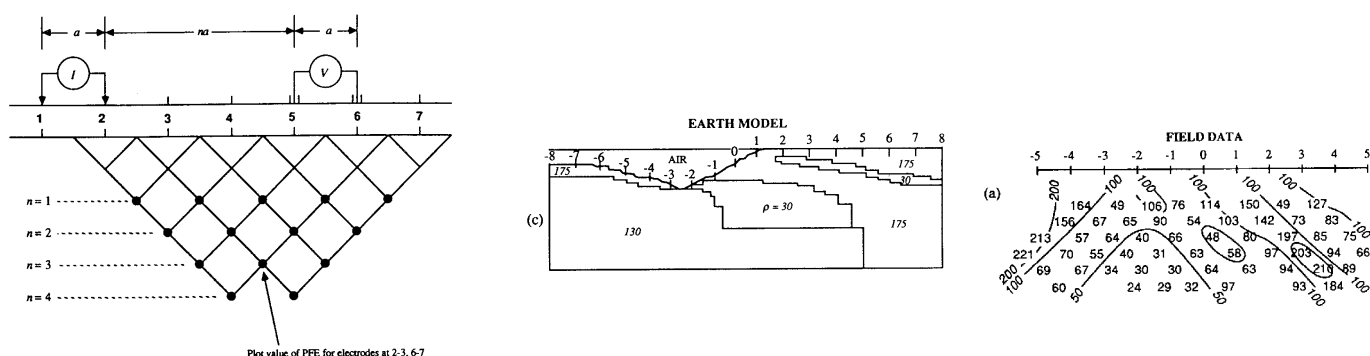


Fig. A6. Modello di geoelettrica dipolo-dipolo in tomografia, combined sounding and profiling (a sinistra). (da Ward, 1990). (a) valori misurati in tomografia, dipolo-dipolo; (b) valori calcolati da software di inversione grafica; (c) modello interpretativo del sottosuolo (in colonna, a destra). (da Hohmann, 1982)

La combinazione dei due sistemi, *combined sounding and profiling*, adottando intervalli fissi di interdistanza tra gli elettrodi, consente di sviluppare un Profilo Elettrico Verticale, ossia una tomografia elettrica che si sviluppa lungo una determinata linea sul terreno.

Signal-to-noise ratio
Electromagnetic coupling
Sensitivity to lateral location
Resolution of steeply dipping structures
Resolution of horizontal structures
Depth of exploration
Sensitivity to depth of target
Sensitivity to dip
Sensitivity to surficial inhomogeneities, sounding
Sensitivity to surficial inhomogeneities, profiling
Sensitivity to bedrock topography
Sensitivity to lateral effects
Shielding by uniform conductive overburden
Sensitivity to topography

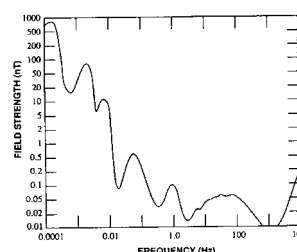


Fig. A7. Fattori che influenzano la scelta della configurazione elettrodica nei rilievi di resistività e di cariche del terreno (a sinistra) (da Ward, 1990). Spettro del campo magnetico generale, cultural noise (a destra). (da Campbell, 1967)

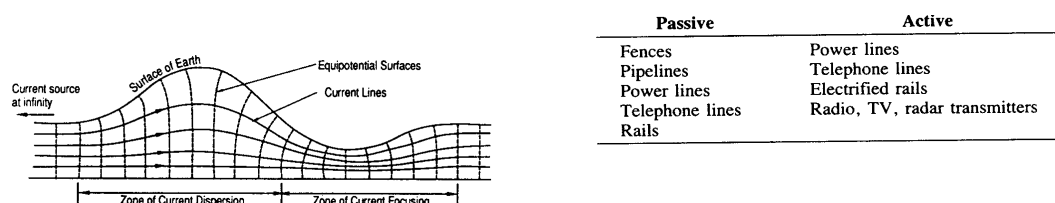


Fig. A8. Influenza della topografia sulla distribuzione delle superfici equipotenziali e delle linee di corrente (a sinistra). (da Fox et al., 1980). Sorgenti di effetti d'interferenza d'origine antropica, cultural noise (a destra). (da Ward, 1990)

Tale configurazione è particolarmente efficace per l'individuazione di discontinuità di resistività sia in profondità che laterali al terreno ed in condizioni di presenza d'acqua di falda. Consente quindi di delimitare, in sezione e quindi in volume, attraverso un'opportuna interpretazione dei valori, anomalie locali generate da strutture localizzate come la stratificazione dei terreni e delle rocce, corpi di discarica, tracce di dispersione di inquinanti, strutture in generale.

B. Caricabilità o Polarizzazione Indotta

Il metodo della *polarizzazione indotta I.P. (Induced Polarization o Polarisation Induite)* si applica attualmente contemporaneamente al metodo della tomografia elettrica di resistività.

La Polarizzazione Indotta fu sviluppata dapprima per la prospezione di piccole concentrazioni di elementi metallici, disseminati in *layer*, nell'ambito di ricerche per l'esplorazione mineraria.

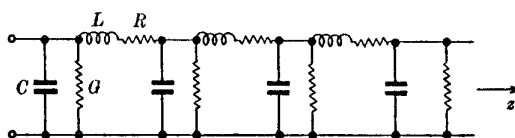


Fig. B1. Una porzione di terreno percorsa da corrente elettrica in frequenza può essere rappresentata schematicamente come una linea di trasmissione a parametri distribuiti. C = Capacità; L = Induttanza; R = Resistenza; G = Conduttanza; z = direzione dell'asse lungo il quale il mezzo risulta percorso da corrente. (disegno da Stratton, 1941)

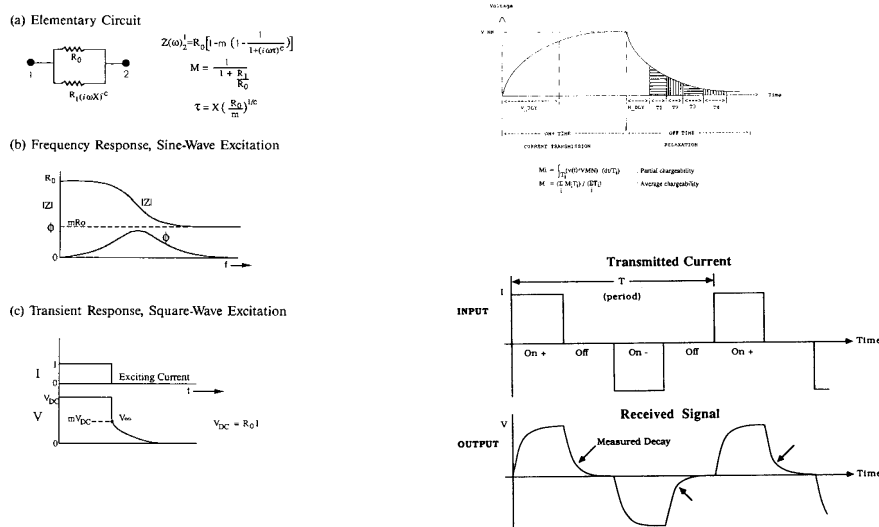


Fig. B2. Modello di circuito semplificato di una porzione di terreno. (a) Circuito elementare; (b) applicazione di corrente sinusoidale: Z = ampiezza, ϕ = fase; (c) applicazione di corrente quadra: V = tensione iniziale e residua di "caricabilità" (a sinistra). (da Pelton et al., 1978). Forma dell'onda trasmessa Tx ed in ricezione Rx (a destra). (da Ward, 1990)

Le prime applicazioni in campo ambientale risalgono agli anni '70 (Angoran et al., 1974; Towle et al., 1985; Zonge et al., 1985; Hughes et al., 1986; Anderson et al., 1988).

La *polarizzazione indotta* è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione al terreno. Il metodo si basa sull'osservazione della curva di decadimento del potenziale, susseguente all'interruzione della corrente immessa, cioè sulla misura della "caricabilità" residua trattenuta dal mezzo d'indagine sottoposto a corrente.

Per un terreno omogeneo di dimensioni infinite, il tempo di decadimento è funzione della resistività del terreno e non cambia al variare della coppia dei punti tra i quali si misura la differenza del potenziale. Se nel terreno è incluso un corpo metallico o con proprietà analoghe, si verificano anomalie nel decadimento elettrico, in funzione del tempo. Lo stesso fenomeno si osserva anche per polarizzazione di contaminanti organici che possono eventualmente trovarsi nel terreno di un sito contaminato. La configurazione tipica per l'acquisizione dei dati di questo tipo varia in funzione di numerose variabili. Solitamente i poli elettrodi sono distanziati tra loro di un multiplo n (n°) di a (m). La profondità d'indagine è funzione della distanza tra i due poli ($n \times a$). Sono generalmente utilizzati più valori di n consentendo di effettuare *pseudosezioni di polarizzabilità* del terreno.

I fenomeni che avvengono a livello microscopico nel materiale sottoposto a corrente elettrica sono globalmente di due tipi: *polarizzazione elettrodica* e *polarizzazione di membrana*.

B.1 Polarizzazione elettrodica

Ogni volta in cui cambia la modalità di conduzione di una corrente, per esempio da *ionica a metallica*, viene richiesta energia dal sistema affinché della corrente fluisca nella nuova interfaccia. Questa barriera costituisce una *impedenza elettrica* (Schelkunoff, 1938). Le superfici della maggior parte dei solidi possiedono attrazione molto modesta tra ioni e cationi. Nelle immediate vicinanze della superficie esterna del solido è presente uno strato di ioni, essenzialmente immobili, costituito da uno o da alcuni, in numero, strati molecolari di spessore.

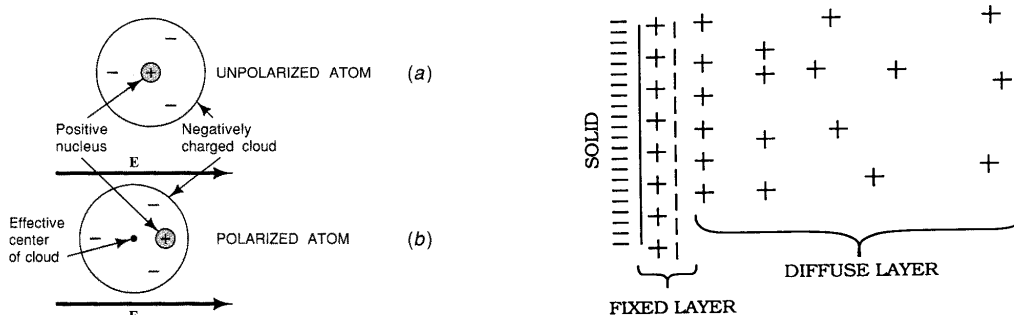


Fig. B1.1. (a) Atomo in equilibrio; (b) atomo polarizzato per applicazione di un campo elettrico (a sinistra). (Kraus, 1992). Teorica distribuzione anomala degli ioni all'interfaccia solido - liquido (a destra). (Ward, 1990)

Nelle immediate vicinanze di tale stratificazione c'è anche un gruppo di ioni relativamente mobili, di segno di carica uguale od opposto, conosciuto come strato di *diffusione*. Il numero di ioni anomali in questa zona decresce esponenzialmente verso l'esterno, a partire dallo strato verso la concentrazione ionica del liquido. La particolare distribuzione degli ioni illustrata è solo una tra quelle possibili; risulta essere però la più comune.

Mentre le cariche disposte sulla stratificazione fissa sono abbastanza stabili al movimento, le cariche sulla stratificazione diffusa sono funzione della temperatura, della concentrazione di ioni presenti nell'elettrolita allo stato normale (cioè non

sottoposto a corrente elettrica), della valenza elettronica e della *costante dielettrica* del mezzo.

Due sono i circuiti possibili per cui la corrente può essere trasportata attraverso le stratificazioni descritte. Attraverso l'elettrolita oppure per conduzione "metallica" (v. Fig. B1.1).

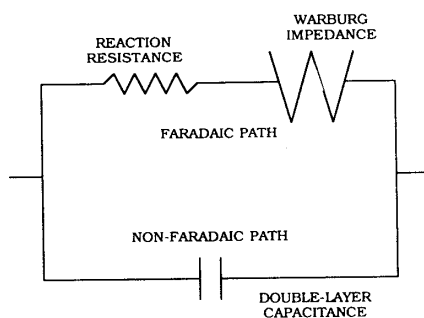


Fig. B1.2. Modello di circuito elettrico di rappresentazione dell'impedenza interfacciale. (Ward, 1990)

Il percorso di tipo di *Faraday* e quello *non-Faraday*. Il passaggio di corrente nel tipo *Faraday* è il risultato di una reazione elettrochimica come l'ossidazione o la riduzione di alcuni ioni. Si può sviluppare la diffusione degli ioni dall'interfaccia. La carica viene fisicamente trasportata dal movimento degli elettroni.

Nel caso *non-Faraday*, le particelle cariche non attraversano l'interfaccia; piuttosto una corrente si genera dall'alternarsi dei processi di carica e scarica delle due stratificazioni. Questo processo si può rappresentare come un fenomeno di tipo *capacitivo*, con variazione di *impedenza* al variare della frequenza.

Nel tipo *Faraday*, l'*impedenza* associata al trasferimento elettrico è rappresentata da una reazione di *resistenza*. Il processo di diffusione di ioni non è invece rappresentabile così semplicemente come da una combinazione di resistori e di capacità. Esso è riferito ad una *impedenza* detta di *Warburg*, la cui intensità varia inversamente con l'inverso della radice quadrata della frequenza. L'*impedenza* d'interfaccia tra molti metalli - elettroliti può quindi essere generalmente descritta in tale maniera. Per frequenze maggiori di 1000 Hz, la maggior parte delle *correnti* elettriche seguono un percorso di tipo *non-Faraday*; per cui l'*impedenza* di interfaccia cambia, al variare della frequenza, approssimativamente come l'inverso della frequenza. Diminuendo la frequenza, la maggior parte della corrente viene trasportata attraverso il circuito tipo *Faraday* e quindi l'*impedenza* di bassa frequenza varia con la frequenza (f) in un intervallo che va da $f^{-1/2}$ a f^0 , a seconda dell'intensità di impedenza di rapporto *Warburg / Resistenza*.

Queste condizioni si applicano chiaramente ad modello ideale costituito da un *elettrodo* posto in un *elettrolita* puro. Gli stessi concetti sono tuttavia applicabili con buona approssimazione al modello costituito da terreno percorso da corrente, con le varianti per cui gli *elettrodi* (i grani minerali di semi-conduttori) ed *elettroliti* (soluzioni nei pori) sono tutt'altro che chimicamente puri.

Il circuito di (Fig. B1.2) illustra il fenomeno della *polarizzazione indotta*. Tale modello è noto come principio di *Cole-Cole* (1941), schematizzato secondo Pelton *et al.* (1978) nella relazione:

[con $i = (-1)^{1/2}$; $\omega = 2\pi f$; C = capacità; τ = grandezza dipendente dall'induttanza L e dalla geometria del sistema]

$$Z(\omega) \cong R_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{(1 + i\omega\tau)^C} \right) \right] \cong R - i\omega L$$

In un processo di *rilassamento*, la *fase* del circuito equivalente raggiunge il massimo nel punto in cui il valore assoluto dell'*impedenza* Z, attraverso il circuito, decade dalla resistenza R_0 a $m R_0$, essendo $m = (1, 2, 3, \dots)$ e mostra una inflessione nel picco di fase.

B.2 Polarizzazione di membrana

La *polarizzazione di membrana* è particolarmente importante nelle rocce contenenti una bassa percentuale di argilla nella matrice. L'effetto di questo tipo di polarizzazione aumenta notevolmente in rocce porose in cui le particelle d'argilla bloccano parzialmente il passaggio alle soluzioni di ioni Fig. B2.1. La nuvola cationica di *diffusione* in vicinanza della superficie del minerale argilloso è caratteristica del sistema argilla-elettrolita.

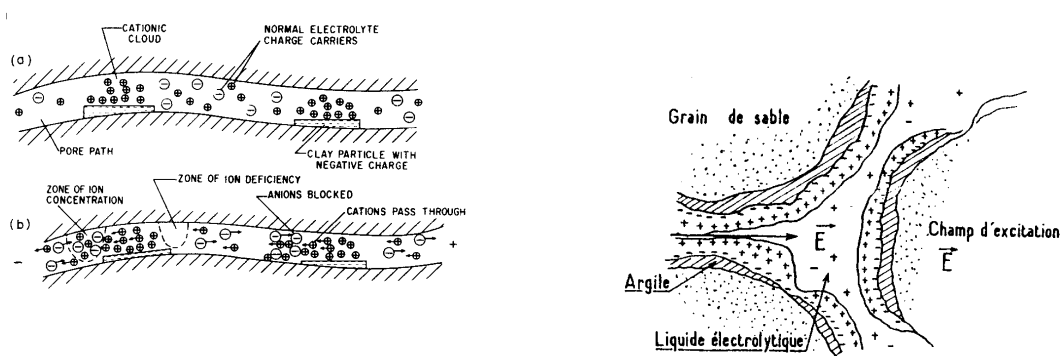


Fig. B2.1. Rappresentazione della polarizzazione di membrana in roccia contenete minerali argillosi. (a) prima dell'applicazione di un campo elettrico; (b) dopo l'applicazione di un campo elettrico (a sinistra). (da Ward & Fraser, 1967). Rappresentazione della formazione di una membrana elettrolitica selettiva (argilla) per gli ioni della fase liquida generati dall'applicazione di un campo elettrico (a destra). (da Vacquier, 1956)

Applicando un potenziale elettrico, le cariche positive si trasportano facilmente attraverso la nube cationica, tuttavia invece le cariche negative trasportate si accumulano (v. Fig. B2.1); esiste quindi una membrana ione-selettiva. All'eliminazione del potenziale elettrico, tutte le cariche ritornano nella loro posizione di equilibrio.

Di conseguenza, una quantità in sovrabbondanza sia di cationi che di anioni si genera ad una estremità della zona di membrana, mentre una carenza di essi si localizza nella parte opposta. Il numero totale delle cariche di un segno non è generalmente significativamente diverso da quelle di segno opposto. Questa concentrazione di ioni genera un gradiente opposto al flusso generale creando una generale diminuzione delle cariche mobilitate. Tale diminuzione è tanto più accentuata a variazioni di frequenza moderate (per esempio a 0.1 Hz) rispetto al tempo di diffusione degli ioni tra una zona di membrana e l'altra. Per variazioni rapide rispetto al tempo di diffusione (per esempio 1000 Hz) la mobilità ionica non si riduce sostanzialmente. Quindi la conducibilità elettrica del sistema membrana aumenta all'aumentare della frequenza della corrente.

La maggior parte delle cariche *adsorbite* adiacenti ad un'interfaccia è contenuta entro una distanza d dalla superficie, per cui (Grahame, 1947):

$$d = \frac{K_e kT}{[2ne^2 v^2]^{1/2}}$$

In cui

n = concentrazione ionica dell'elettrolita allo stato naturale

v = valenza elettronica degli ioni allo stato naturale

e = carica elementare

K_e = *permeabilità dielettrica relativa* del mezzo fluido

k = costante di *Boltzman*, 1.38054×10^{-16} Erg/°K

T = temperatura

Per l'esplorazione ambientale è importante notare come lo spessore d della stratificazione aumenti con la *permeabilità dielettrica* e con la temperatura e diminuisca invece con la concentrazione ionica e con la valenza degli elementi. La polarizzazione indotta è quindi tanto maggiore quanto d risulta grande.

Tale considerazione vale sia per la *polarizzazione di membrana* che per quella *elettrodica*.

	ρ_a	IP
Abandoned mineshafts—detection	X	X
Archaeological site—delineation	X	
Chemical waste disposal—contamination plumes	X	?
Cropland salinization and desalinization—changes with time and space	X	
Dams—integrity of foundation, status	X	X
Earthquake risk—evaluation of fault movement	X	
Engineering geology—mapping	X	X
Faults—detection, delineation	X	X
Foundations—integrity, soil/bedrock interface	X	
Groundwater—delineation, evaluation, protection, contamination	X	X
Karst topography—soil/bedrock interface	X	X
Landfills—delineation, contamination plumes, drums	X	X
Landslides—delineation, water content	X	
Materials exploration—detection and delineation	X	X
Nuclear waste disposal—pre-site delineation	X	X
Oil shale retort monitoring	X	X
Permafrost—delineation of active layer and ice lenses	X	
Rippability—delineation of weathered rock	X	?
Road siting—soil/bedrock interface	X	X
Tunnels and cavities—detection and delineation	X	

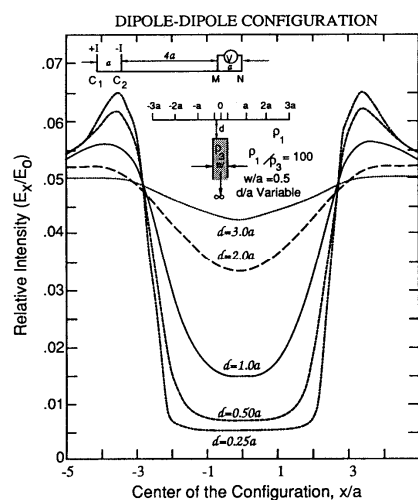


Fig. B2.2. Campi di applicazione dei metodi di resistività e di polarizzazione indotta (a sinistra). (da Ward, 1990). Configurazione dipolo-ipolo. Profili di rappresentazione del rapporto dell'intensità del campo elettrico rispetto a quello primario $E_0 = I_1 / 6.25 a^2$, a varie profondità, su una struttura conduttiva verticale (a destra). (da Dey et al., 1975)

Si ricorda infine come talora si possa incorrere in valori negativi di polarizzazione indotta, come anche di resistività, durante l'acquisizione dati. I valori negativi sono generati da condizioni complesse di strutturazione e configurazione del sistema terreno – strutture presenti – dispositivo. In genere occorrono misure negative

anomale a causa di “noise” elettromagnetico, presenza di conduttori nel terreno di forma geometrica particolare, coperture di terreno notevolmente conduttive.

13 - INDAGINI GEOTECNICHE

13.1 - Scelta e ubicazione dei sondaggi

La scelta della ubicazione delle prove penetrometriche SCPT eseguite è stata effettuata sulla base dell'ampiezza dell'area, della sua localizzazione e del progetto di studio ambientale progettato.

Il giorno 29.10.2015 sono state effettuate n° 5 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT distribuite in modo uniforme sull'area di intervento, e comunque localizzate in luoghi abbastanza lontani da possibili interferenze con i notevoli sottoservizi presenti. ([Ved. Tav. 8](#)).

13.1 - Sondaggio geognostico e campionamento delle carote

I sondaggi geognostici sono stati effettuati con una perforatrice idraulica cingolata su gomma tipo Beretta T44.

Il metodo utilizzato è stato quello del carotaggio continuo con circolazione d'acqua con diametro 101 mm.

Oltre a dare indicazioni dirette che consentono di identificare la stratigrafia dei terreni interessati, con questo metodo si sono potuti ottenere campioni indisturbati e nei fori si sono potute effettuare prove in sito, quali le prove S.P.T.

Per ogni sondaggio sono stati usati carotieri semplici con $\varnothing$ 101 mm e rivestimenti del diametro di 127 mm.

Le carote estruse sono state posizionate in apposite cassette catalogatrici in PVC riportanti il numero progressivo del sondaggio nonché i riferimenti sulla profondità di prelievo delle carote stesse ([ved. Appendice 4](#)).

Le misure dei livelli piezometrici sono state effettuate utilizzando come strumento la "Sondina elettrica". Essa consiste in un cavo elettrico le cui estremità inferiori sono collegate a due lamine elettricamente isolate tra loro e quelle superiori sono collegate, tramite una batteria ad un apparecchietto acustico; quando le due lamine metalliche toccano l'acqua si chiude il circuito elettrico e ciò viene segnalato in superficie da una sorgente sonora. Con tale apparecchio si hanno precisioni fino a 3-5 mm ed inoltre, lo strumento adottato, è munito di cavo elettrico millimetrato, per cui si sono effettuati rapidamente le misure dei livelli.

Sono stati eseguiti i seguenti sondaggi:

n ° Sondaggio	Inizio	Fine	Profondità raggiunta	n ° Prove Lefranc	n ° Prove S.P.T.	n ° campioni prelevati
SA	05.11.2015	05.11.2015	6.00 m	1	---	---
SB	04.11.2015	04.11.2015	10.00 m	1	3	2

Le stratigrafie dei sondaggi sono rappresentate nelle [Tavv. 9 e 10](#).

13.2 - Prove penetrometriche dinamiche SCPT

L'indagine si è articolata nell'esecuzione di n° 5 prove penetrometriche dinamiche continue tipo S.C.P.T. (Standard Cone Penetration Test) effettuate il giorno 29.10.2015.

La prova consiste nella infissione a battitura di aste di Ø 30 mm.

L'infissione avviene mediante battitura con un maglio di 73.5 Kg di peso che cade automaticamente da un'altezza di 75 cm con punta conica di Ø 51.0 mm.

La procedura Meardi AGI prevede l'utilizzo di un rivestimento metallico provvisorio per "scaricare" l'attrito laterale sulle aste in modo da quantificare la sola resistenza di punta all'avanzamento; tale rivestimento viene infisso nel terreno alternativamente all'infissione delle aste.

Il numero N di colpi, che rappresenta la resistenza alla penetrazione a qualsiasi profondità, necessario per l'affondamento della punta di 30 cm viene riportato in un diagramma continuo di penetrazione che si allega in appendice alla presente relazione.

In ascissa è indicato il numero di colpi necessari per un avanzamento dell'utensile di 30 cm, in ordinata la profondità, ad intervalli di 30 cm ([Ved. Tavole 12-13-14-15-16](#)).

Con tale strumentazione è possibile tramite tabelle di correzione e grafici sperimentali correlare il numero di colpi necessari all'avanzamento dell'utensile (Nc) ai principali parametri geotecnici caratteristici dei terreni investigati, quali lo stato di addensamento dei depositi, l'angolo di attrito interno e il peso di volume; questi ultimi sono elementi necessari per la valutazione infine del carico ammissibile e dei cedimenti calcolati secondo la teoria dell'elasticità.

Sono state eseguite le seguenti:

Prova penetrometrica n° 1 - S.C.P.T.:	Profondità raggiunta: 4,50 m da p.c.
Prova penetrometrica n° 2 - S.C.P.T.:	Profondità raggiunta: 3,90 m da p.c.
Prova penetrometrica n° 3 - S.C.P.T.:	Profondità raggiunta: 3,30 m da p.c.
Prova penetrometrica n° 4 - S.C.P.T.:	Profondità raggiunta: 3,00 m da p.c.
Prova penetrometrica n° 5 - S.C.P.T.:	Profondità raggiunta: 4,50 m da p.c.

Durante l'esecuzione delle prove non è stata rinvenuta acqua di falda.

Caratteristiche del penetrometro dinamico super pesante Pagani (DPSH super heavy) TG 63-100 equipaggiato con attrezzatura relativa alla configurazione Meardi-AGI

Caratteristiche tecniche penetrometro

Peso mazza battente	$M = 73.50 \text{ kg}$	Lunghezza delle aste	$L_a = 1.00 \text{ m}$
Altezza caduta libera	$H = 0.75 \text{ m}$	Peso aste per metro	$M_a = 6.31 \text{ kg}$
Peso sistema battuta	$M_s = 0.63 \text{ kg}$	Prof. Giunzione 1ª asta	$P_1 = 0.30 \text{ m}$
Diametro punta conica	$D = 51.00 \text{ mm}$	Avanzamento punta	$\delta = 0.30 \text{ m}$
Area base punta conica	$A = 20.43 \text{ cm}^2$	Rivestimento/Fanghi	Si
Angolo apertura punta	$\alpha = 60^\circ$		

Numero di colpi punta	$N = N(30) \Rightarrow \text{relativo ad un avanzamento di } 30 \text{ cm}$
Energia specifica per colpo	$Q = (MH)/(A\delta) = 8.93 \text{ kg/cm}^2 \text{ (SPT} = 7.83 \text{ kg/cm}^2\text{)}$
Coeff. Teorico di energia	$\beta t = Q/Q_{\text{spt}} = 1.141 \text{ (teoricamente } N_{\text{spt}} = \beta t N)$

Correlazioni geotecniche di riferimento

Parametro	Correlazione	Tipo di terreno	Bibliografia
Densità relativa	N_{spt} / D_r	Terreni granulari	Terzaghi – Peck 1948/67
Angolo d'attrito interno efficace	N_{spt} / ϕ	Terreni granulari	Peck-Hanson-Thorburn 1953/74
Modulo di deformazione drenato	N_{spt} / E'	Terreni granulari	Buisman-Bowles
Rischio liquefazione	N_{spt}	Terreni granulari	Shi – Ming 1982
Coesione non drenata	N_{spt} / C_u	Terreni coesivi	Terzaghi – Peck 1948/67
Peso di volume	N_{spt} / γ	Terreni granulari / coesivi	Terzaghi-Peck 1948/67 – Bowles 1982

13.1 - Prove S.P.T. (Standard Penetration Test)

Si tratta di prove penetrometriche dinamiche che sono state effettuate nel foro del sondaggio, durante l'esecuzione dello stesso, a profondità diverse.

Esse consentono di addivenire ad una caratterizzazione della natura litologica dei terreni e delle loro caratteristiche geotecniche.

Le modalità di esecuzione sono state quelle standard con maglio da 63.5 kg lasciato cadere da 760 mm su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria d'aste, all'estremità delle quali era montata una punta conica di Ø 51.0 mm.

Si misura il numero N di colpi, che rappresenta la resistenza alla penetrazione ad una determinata profondità, necessario per l'affondamento della punta per tre intervalli di 15 cm ciascuno.

In relazione ai valori ottenuti (N) si può determinare la resistenza alla penetrazione (N_{SPT}) che è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno. Il valore di N_{SPT} è la somma dei valori misurati nel secondo e terzo intervallo di prova ed è stato riportato nella sottostante tabella (R =rimbalzo cioè $N_{spt} > 50$).

In particolare è possibile correlare il valore di N_{SPT} con lo stato di addensamento dei terreni (Indice di consistenza I_c per terreni coesivi e densità relativa D_r per terreni incoerenti) e con la resistenza al taglio (Coesione non drenata C_u per i terreni coesivi, angolo di attrito ϕ' per i terreni incoerenti).

Qui di seguito vengono riportati i valori di N_{SPT} relativi alle prove eseguite nei diversi sondaggi.

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Tipo di Prova	Valori misurati			Nspt (c/p)
			I	II	III	
SB	3.00	Punta conica	10	6	7	13
SB	6.00	Punta conica	50	--	--	R
SB	9.00	Punta conica	50	--	--	R

Qui di seguito sono riportate due tabelle⁸ con la valutazione dei parametri di resistenza dai dati dello SPT:

Terreno coerente (argille e limi)

DEFINIZIONE DELLA CONSISTENZA	N _{SPT}	INDICE DI CONSISTENZA (I _c)	COESIONE NON DRENATA C _u (bar)
Molto soffice	< 2	~ 0	< 0.1
Soffice	2 ÷ 4	0 ÷ 0.25	0.1 ÷ 0.25
Plastico	4 ÷ 8	0.25 ÷ 0.50	0.25 ÷ 0.50
Duro	8 ÷ 15	0.50 ÷ 0.75	0.50 ÷ 1.00
Molto duro	15 ÷ 30	0.75 ÷ 1.00	1.00 ÷ 2.00
Durissimo	> 30	> 1	> 2.00

Terreno incoerente (ghiaie e sabbie)

DEFINIZIONE DELLA CONSISTENZA	N _{SPT}	DENSITA' RELATIVA (D _r)	ANGOLO DI ATTRITO φ'
Molto sciolto	< 4	< 0.2	< 30°
Sciolto	4 ÷ 10	0.2 ÷ 0.4	30° ÷ 35°
Medio	10 ÷ 30	0.4 ÷ 0.6	35° ÷ 40°
Denso	30 ÷ 50	0.6 ÷ 0.8	40° ÷ 45°
Molto denso	> 50	> 0.8	> 45°

⁸La tabella è tratta da: C. Cestelli Guidi - Geotecnica e tecnica delle fondazioni - Hoepli

13.2 - Prova di permeabilità Lefranc a carico costante

La prova consiste nel misurare la portata necessaria per mantenere costante un livello dell'acqua nel foro, superiore o inferiore a quello stabilizzato corrispondente alla falda esterna.

La stabilità del livello viene controllata con una normale sondina elettrica mentre la portata viene misurata con un contatore di precisione inserito nella mandata della pompa.

Il valore del coefficiente di permeabilità può essere calcolato mediante l'espressione generale:

$$K = Q / F \cdot h$$

dove:

Q = portata immessa o emunta (mc/sec)

F = Coefficiente che dipende dalla forma della cavità e dalla presenza o meno di strati di sconfinamento

h = differenza di altezza del livello d'acqua provocata dall'immissione o dall'emungimento (m)

Sono state eseguite le seguenti prove di permeabilità Lefranc a carico costante:

Identificazione prova	Posizione	Profondità	Permeabilità
SA-K1 (05.11.2015)	SA	Profondità di prova= 3,20 m da p.c.	K= 6,21E-01 cm/sec
SB-K1 (04.11.2015)	SB	Profondità di prova= 3,70 m da p.c.	K= 2,92E-01 cm/sec

Considerando i valori ottenuti dalle prove di permeabilità sopra esposte, in accordo con quanto indicato nella letteratura geotecnica e con riferimento alla sottostante tabella, è possibile assegnare ai terreni presenti nell'area di indagine un valore di *capacità drenante buona* con coefficiente di permeabilità dell'ordine K di 10^{-1} cm/s. Tale valore è legato alla presenza di litologie di tipo ghiaioso-sabbioso.

Le elaborazioni relative alle prove di permeabilità sono visualizzabili in [Tav. 17](#).

K (cm/sec)	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
DRENAGGIO	BUONO						POVERO			TERRENI PRATICAMENTE IMPERMEABILI		
	Ghiaia pulita	Sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita				Sabbia fina, limi organici ed inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			
						Terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo						

13.3 - Analisi granulometriche

La setacciatura consiste nel vagliare il terreno campione per mezzo di una serie di setacci di apertura decrescente, sovrapposti e fatti vibrare in modo da separare i granuli in frazioni di dimensioni pressoché uguali, ciascuna trattenuta al corrispondente setaccio. Si possono così determinare le dimensioni delle particelle che compongono un campione di terreno e stabilire le percentuali in peso delle varie frazioni che rientrano entro limiti prefissati.

La setacciatura è eseguita sulla frazione grossolana del campione, cioè quella avente diametro delle particelle superiore a 0,075 millimetri. I setacci utilizzati sono quelli indicati dalla Normativa ASTM aventi dimensioni delle maglie pari a : 37,5-25,0-19,0-12,5-9,5-6,3 - 4,75-2,0-0,85-0,425-0,18-0,125-0,075 millimetri.

Sul materiale avente diametro inferiore a 0,075 millimetri è eseguita l' aerometria, ma solo nel caso in cui la percentuale di passante al setaccio n. 200 (luce 0,075 millimetri) è superiore al 10% del peso totale del campione analizzato. L' aerometria consente di valutare le dimensioni delle particelle indirettamente, misurandone la velocità di sedimentazione all' interno di un cilindro contenente una dispersione delle particelle in una miscela di acqua e antiflocculante. La quantità di materiale passante al setaccio con luce 0,075 millimetri sottoposta ad analisi per sedimentazione è pari a 50 grammi. Le letture vengono effettuate con un densimetro immerso nel cilindro ad intervalli di tempo regolari (30''-1'-2'-5'-10'-20'-30'-1h-2h-4h-8h-24h).

I risultati ottenuti sono sintetizzati nella tabella sottostante:

N°	Profondità (m da p.c.)	Classificazione AGI
SBC1	2,00 – 2,50	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa
SBC2	6,50 – 7,50	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa

Dai risultati delle analisi granulometriche si evince che sulla verticale del sondaggio B la litologia è omogenea per una profondità compresa tra 2,00 m da p.c. e 7,50 m da p.c. e in particolare è caratterizzata da alternanze di ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa.

Le curve granulometriche sono riportate nella [Tavola 18](#).

14 - RISULTATI DELL'INDAGINE

La stratigrafia locale del sottosuolo è stata ottenuta sulla base dei dati desunti dalla descrizione e catalogazione delle carote estratte dai sondaggi e sulla base dei riscontri indiretti ottenuti dalle prove penetrometriche eseguite in sito.

I risultati del sondaggio sono facilmente evincibili dalle stratigrafie allegata ([Ved. Tavv.9 e 10](#)). In queste vengono indicate tutte le caratteristiche salienti del sondaggio: prima di tutto la tipologia dei terreni attraversati, le coordinate di riferimento sulla cartografia C.T.R., la profondità raggiunta, il diametro dei fori e del rivestimento, la quota del piano campagna e la data di termine del lavoro.

Oltre a questi dati vengono riportati i valori delle prove geotecniche in sito, l'ubicazione dei campioni prelevati, la profondità delle prove Lefranc ed il livello della falda freatica a fine lavoro. La falda freatica non è stata rinvenuta.

La massima profondità raggiunta con i sondaggi geognostici è stata di 10,0 m da p.c..

La successione litostratigrafica ricostruita per l'area in esame è la seguente: da piano campagna fino alla profondità di ca 0.60 è presente un orizzonte sciolto di terreno vegetale limoso argilloso con presenza di ciottoli sparsi; segue fino a 2,50 m di profondità da p.c. un livello mediamente addensato costituito da ghiaie con sabbie e ciottoli; segue fino a 4,00 m da p.c. un orizzonte addensato di ghiaie e sabbie con trovanti e conglomerato (presente nel sondaggio SA); segue fino alla massima profondità indagata di 10,00 m da p.c., un livello molto addensato di ghiaie e sabbie con ciottoli in matrice sabbiosa; oltre 10,00 m da p.c. si ipotizza la presenza di ciottoli e conglomerato.

Poiché su tutta l'area di indagine i terreni sono omogenei e le litologie attraversate dalle diverse indagini geotecniche sono le stesse è possibile effettuare la seguente ricostruzione litostratigrafia mediata, a partire dalla quota media del piano campagna (232.0 m s.l.m.), sulla base dell'interpretazione dei dati desunti dalle prove penetrometriche e dei sondaggi geognostici:

- a) **Da 0,00 a 0,60 m da p.c.**, Terreno vegetale limoso-argilloso sciolto (Nspt = 6 c/p);
- b) segue **da 0,60 a 2,50 m da p.c** un orizzonte mediamente addensato di ghiaia con sabbia e ciottoli (Nspt = 16 c/p);
- c) segue **da 2,50 a 4,00 m da p.c.** un livello addensato di ghiaia e sabbie con trovanti e conglomerato (Nspt = 32 c/p);

- d) segue **da 4,00 a 10,00 m da p.c.** un livello molto addensato di ghiaie e sabbie con ciottoli in matrice sabbiosa ($N_{spt} = R$);
- e) segue **da 10,00 m da p.c. e presumibilmente oltre** : presenza di conglomerato talora clastico

Per quanto riguarda i parametri geotecnici degli orizzonti attraversati si fanno le seguenti valutazioni mediate, relative ai parametri desunti dalle bibliografia citata in funzione delle prove effettuate:

orizzonte (a) da 0,00 a 0,60 m da p.c., sciolto :

peso di volume secco	$\gamma_d = 1,43 \text{ t/m}^3$
peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 1,89 \text{ t/m}^3$
angolo di attrito interno	$\phi' = 26,0^\circ$
densità relativa	DR= 22,0%
modulo di deformazione drenato	$E' = 48 \text{ kg/cm}^2$
coefficiente di Poisson (da letteratura)	$\nu = 0,20$
coesione efficace	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$
modulo di sottofondazione (da letteratura)	$k_{winkler} = 0,5 \text{ kg/cm}^3$

orizzonte (b) da 0,60 a 2,50 m da p.c., mediamente addensato :

peso di volume secco	$\gamma_d = 1,54 \text{ t/m}^3$
peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 1,96 \text{ t/m}^3$
angolo di attrito interno	$\phi' = 31,0^\circ$
densità relativa	DR= 42,5%
modulo di deformazione drenato	$E' = 120 \text{ kg/cm}^2$
coefficiente di Poisson (da letteratura)	$\nu = 0,20$
coesione efficace	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$
modulo di sottofondazione (da letteratura)	$k_{winkler} = 2,0 \text{ kg/cm}^3$

orizzonte (c) da 2,50 a 4,00 m da p.c., addensato :

peso di volume secco	$\gamma_d = 1,71 \text{ t/m}^3$
peso di volume saturo	$\gamma_{sat} = 2,06 \text{ t/m}^3$
angolo di attrito interno	$\phi' = 35,0^\circ$
densità relativa	DR= 67,0%
modulo di deformazione drenato	$E' = 384 \text{ kg/cm}^2$
coefficiente di Poisson (da letteratura)	$\nu = 0,25$
coesione efficace	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$
modulo di sottofondazione (da letteratura)	$k_{winkler} = 5,0 \text{ kg/cm}^3$

orizzonte (d) da 4,00 a 10,00 m da p.c., molto addensato :

peso di volume secco	$\gamma_d = 1,99 \text{ t/m}^3$
peso di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 2,24 \text{ t/m}^3$
angolo di attrito interno	$\phi' = 40,0^\circ$
densità relativa	DR= 100%
modulo di deformazione drenato	$E' = 1188 \text{ kg/cm}^2$
coefficiente di Poisson (da letteratura)	$\nu = 0,30$
coesione efficace	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$
modulo di sottofondazione (da letteratura)	$k_{\text{winkler}} = 8,0 \text{ kg/cm}^3$

orizzonte (e) da 10,00 m da p.c. e presumibilmente oltre , orizzonte di conglomerato talora clastico :

peso di volume	$\gamma = 2.70 \text{ t/m}^3$
coesione	$c = 1.9 \text{ kg/cm}^2$
angolo di attrito interno	$\phi' = 39.0^\circ$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.31$
modulo di Young	$E_{p1} = 88.8 \text{ GPa}$

14.1 - Portanza del terreno

Il carico limite unitario è stato calcolato secondo le teorie di Terzaghi e di Meyerhof applicando la formula generale di Brinch-Hansen (1970):

$$q_{lim} = (\gamma' \cdot D_f \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q) + (0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma) \quad (1)$$

dove:

q_{lim}	= carico limite di rottura (t/m^2)
γ'	= peso di volume del terreno (t/m^3)
D_f	= profondità del piano di posa delle fondazioni (m) (si assume $D_f \leq B$)
N_q e N_γ	= coefficienti di carico limite (da Vesic, 1975)
S_γ e S_q	= fattori di forma (dipendenti da ϕ e dalle dimensioni della fondazione)
B	= larghezza fondazione (m)

d_q = fattore dipendente dalla profondità del piano di posa (da Brinch-Hansen)

In questa fase di analisi, non essendo noto un progetto definito per interventi sull'area in esame, è stata ipotizzata una tipologia di fondazione a plinti isolati a geometria quadrata di lato di 2,00 metri impostati alla profondità di posa di 1,00 m da p.c., per il calcolo sono stati adottati i parametri geotecnici dell'orizzonte mediamente addensato che si estende da 0,60 a 2,50 m di profondità da p.c.:

- $\gamma_d = 1,54 \text{ t/mc}$;
- $\gamma_{\text{sat}} = 1,96 \text{ t/mc}$;
- densità relativa = DR = 42,5 %;
- angolo di attrito interno = $\phi = 31,0^\circ$;
- modulo di elasticità = $E' = 120 \text{ kg/cm}^2$;
- coesione non drenata = $C_u = -$;
- carico verticale e centrato agente su piano orizzontale;
- profondità = 1,00 m dal p.c.;
- falda acquifera = assente.

Per quanto riguarda il carico ammissibile del terreno alla profondità di 1,0 m, sulla base di una media delle resistenze penetrometriche relative agli strati ubicati alla profondità interessata si può calcolare, secondo le teorie di Terzaghi e di Meyerhof e utilizzando la formula generale di Brinch-Hansen, (si veda l' [Appendice 1](#) in allegato alla presente) ed è pari a:

quota: -1,0 m dal p.c. carico ammissibile $\sigma_{\text{amm}} = 2,0 \text{ kg/cm}^2$

In ogni caso, analizzando i parametri geotecnici degli orizzonti interessati e i diagrammi relativi alle prove penetrometriche eseguite, si evince che l'orizzonte interessato dalla nostra analisi e la successione di terreni sottostanti sono di qualità buona dal punto di vista geotecnico.

15 - VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Per le verifiche agli stati limite si devono considerare i seguenti Set o Gruppi di coefficienti delle varie combinazioni (A + M + R)

A = Coefficiente di amplificazione dei carichi

M = Coefficiente di riduzione dei parametri geotecnici

R = Coefficienti di riduzione delle Resistenze (portanza, scorrimento, etc)

APPROCCIO 1

Combinazione 1 (A1 + M1 + R1)

Combinazione 2 (A2 + M2 + R2)

APPROCCIO 2

Combinazione 1 unica (A1 + M1 + R3)

Le nuove norme tecniche danno la facoltà di scegliere in alternativa l'Approccio 1 verificando entrambe le Combinazioni, oppure l'Approccio 2 - Combinazione unica.

La **misura del grado di sicurezza** si ottiene con il “Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali” di sicurezza tramite l'equazione

$$Ed \leq Rd \text{ oppure } Rd - Ed \geq 0$$

con:

Rd = valore di progetto della resistenza del terreno

Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di carico

La **resistenza del terreno (= Parametro) Rd** è determinata:

1. **Analiticamente** (valori di progetto si ottengono da valori caratteristici divisi per il coeff. parziale γ_m)
2. **Con misure dirette**, utilizzando le Tabelle del T.U. per i coefficienti parziali

L'**azione Ed** è determinata dal valore caratteristico amplificato mediante i coefficienti parziali γ_f

Da cui :

$$R_k / \gamma_m > E_k \cdot \gamma_f$$

° coefficienti parziali

Azioni (E)

I valori caratteristici delle Azioni, attribuiti dallo strutturista sulla base di una prefissata probabilità, non devono essere superati in un intervallo di tempo di riferimento, rapportato alla vita della struttura o alla durata di una particolare azione di progetto.

Resistenze (R)

Si determinano *analiticamente* i **valori caratteristici (fk)** dei parametri della resistenza al taglio del terreno, **coesione e angolo di attrito interno**, partendo dai **valori medi (fm)** riportati nella Relazione Geologica.

Per **valore caratteristico** s'intende quel **valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento**.

I **valori caratteristici** di c' e φ' sono determinabili con le seguenti relazioni:

- $\varphi'k = \varphi'm (1+X \cdot V\varphi)$
- $c'k = c'm (1+X \cdot Vc)$

dove:

$\varphi'k$ = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

$c'k$ = valore caratteristico della coesione;

$\varphi'm$ = valore medio dell'angolo di attrito;

$c'm$ = valore medio della coesione;

$V\varphi$ = coefficiente di variazione (COV) di φ' , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di φ' ;

Vc = coefficiente di variazione (COV) di c' , definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori di c' ;

X = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.

L'Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di X uguale a **-1,645**.

Nei problemi connessi al raggiungimento dello **STATO LIMITE ULTIMO (SLU)** del terreno vanno considerati i **parametri geotecnici di progetto (Vd)** di c' , φ' e γ che si ottengono dividendo i parametri caratteristici per un coefficiente parziale γ_M :

$$tg \varphi' d = tg \varphi' k / \gamma_M \quad \gamma d = \gamma k / \gamma_M \quad cd = ck / \gamma_M$$

Se nella Combinazione scelta è presente M1:

il valore di $\gamma_M = 1$ (Tabella 6.2.II delle D.M. 14.01.2008) e i parametri di progetto risultano avere lo stesso valore dei parametri caratteristici.

Se nella Combinazione scelta è presente **M2**:

D1.C2 - Applicazione 1 Combinazione 2 (**A2+M2+R2**) i parametri di progetto sono forniti dalle seguenti relazioni (Tabella 6.2.II delle D.M. 14.01.2008):

- $tg \varphi' d = tg \varphi' k / 1.25$
- $c' d = c' k / 1.25$
- $cud = cuk / 1.4$
- $\gamma d = \gamma k / 1.0$

dove:

$\varphi' d$ = angolo di attrito di progetto;

$c' d$ = coesione drenata di progetto;

cud = coesione non drenata di progetto.

γd = peso di volume di progetto

Nei problemi connessi al raggiungimento dello **STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)** del terreno, i **valori di progetto (fd)** di c' , φ' e γ sono uguali ai valori caratteristici (**fk**).

$$fd = fk$$

Deve essere verificato che :

$$Ed \leq Cd$$

Ed = valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione

Cd = valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti e deformazioni che possano compromettere la funzionalità di una struttura)

15.1 - Valori caratteristici e valori di progetto

Per il calcolo dei valori caratteristici sono stati adottati i parametri geotecnici medi cautelativi **dell'orizzonte mediamente addensato che si estende dalla profondità di 0,60 fino a 2,50 m da p.c. dove sono state eseguite le prove.** Con ipotesi di fondazioni superficiali impostate **a profondità di -1,00 m da p.c.**, e solo per angolo d'attrito perché i terreni sono stati considerati incoerenti e la coesione è pari a zero si illustra quanto segue:

- angolo di attrito interno medio = $\phi = 31,0^\circ$;

- angolo di attrito interno caratteristico

- $\phi' k = \phi' m (1 + X \cdot V_\phi)$

da cui

$$\phi' k = 26,52^\circ$$

angolo di attrito interno di progetto

1. PER COMBINAZIONE A1+M1+R1 e A1+M1+R3

$$\phi' d = \phi' k = 26,52^\circ$$

2. PER COMBINAZIONE A2+M2+R2:

- $\tan \phi' d = \tan \phi' k / 1,25$

da cui

$$\phi' d = 21,76^\circ$$

Per le verifiche agli stati limite, per i diversi strati distinti nella parametrizzazione geotecnica, si potranno adottare i seguenti valori:

Strato	Profondità (m da p.c.)	Angolo d'attrito medio $\varphi' m$	Angolo d'attrito caratteristico $\varphi' k$	Combinazione A2+M2+R2 Angolo d'attrito di progetto $\varphi' d$
a	0,00 – 0,60	26,0°	23,72°	19,37°
b	0,60 – 2,50	31,0°	26,52°	21,76°
c	2,50 – 4,00	35,0°	29,80°	24,61°
d	4,00 – 10,00	40,0°	34,45°	28,76°

Per il peso di volume del terreno, fuori falda, il coefficiente correttivo sia per combinazione contenente M1 che per combinazione contenente M2 è un coefficiente pari a 1, pertanto si ottiene:

Strato	Profondità (m da p.c.)	Peso di volume γ (t/ m ³)	Peso di volume per combinazione con M1	Peso di volume per combinazione con M2
a	0,00 – 0,60	1,43	1,43	1,43
b	0,60 – 2,50	1,54	1,54	1,54
c	2,50 – 4,00	1,71	1,71	1,71
	4,00 – 10,00	1,99	1,99	1,99

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

Tabella 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

Tabelle tratte da Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14.01.2008)

15.2 - Capacità portante in condizioni di Stati Limite Ultimi

I valori **Rd = resistenza del terreno** per le verifiche di capacità portante in condizioni di Stati Limite Ultimi sono state effettuate ipotizzando le seguenti condizioni:

Sollecitazione verticale e baricentrica

Terreno	Fondazione superficiale: plinto	B	2,00	m
		L	2,00	m
	Profondità piano di posa	D	1,00	m
	Ghiaie con sabbia e ciottoli			
	Peso di volume	γ	15,107	kN/mc
	Angolo d'attrito	ϕ' medio	31,00	°
	Angolo d'attrito caratteristico	ϕ' k	26,52	°
	Angolo d'attrito di progetto	ϕ' d	21,76	°
	Coesione	c'	0,00	kN/mq
	Assenza di falda			

Si sintetizzano i seguenti risultati e si rimanda per il dettaglio all'[Appendice 3](#)

Verifica	Approccio	Qlim (k N)	Coff. Correttivo di capacità portante γ_r	Resistenza del terreno R'd (k N)
Tensioni ammissibili	-----	2354,40	-----	-----
Stati Limite Ultimi	A2+M2+R2	824,04	1,8	457,80

I risultati ottenuti andranno confrontati con i carichi di progetto previsti per l'opera in costruzione per la verifica della soddisfazione dell'equazione sottostante:

$$Ed \leq Rd \text{ oppure } Rd - Ed \geq 0$$

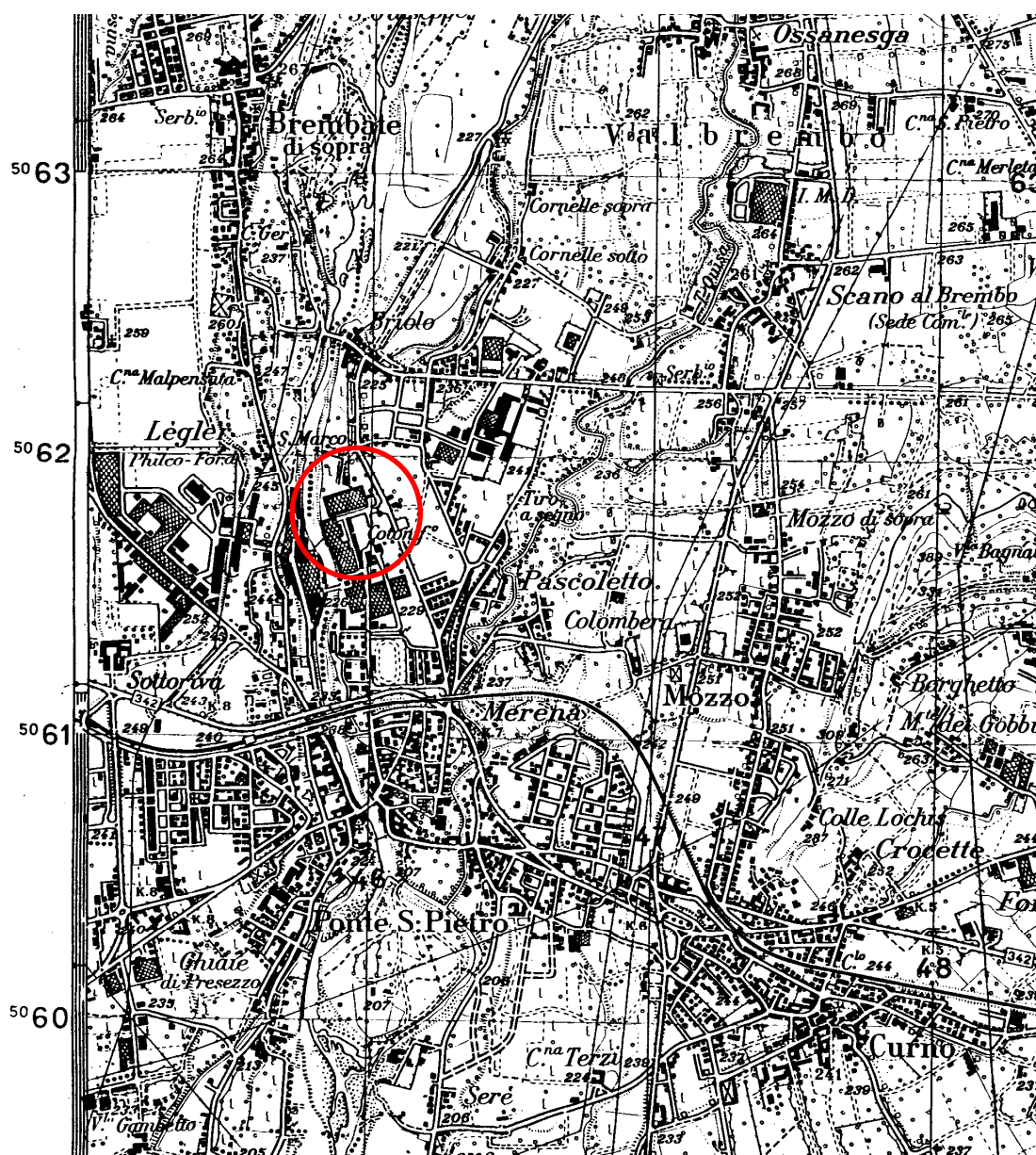
16 - CONCLUSIONI

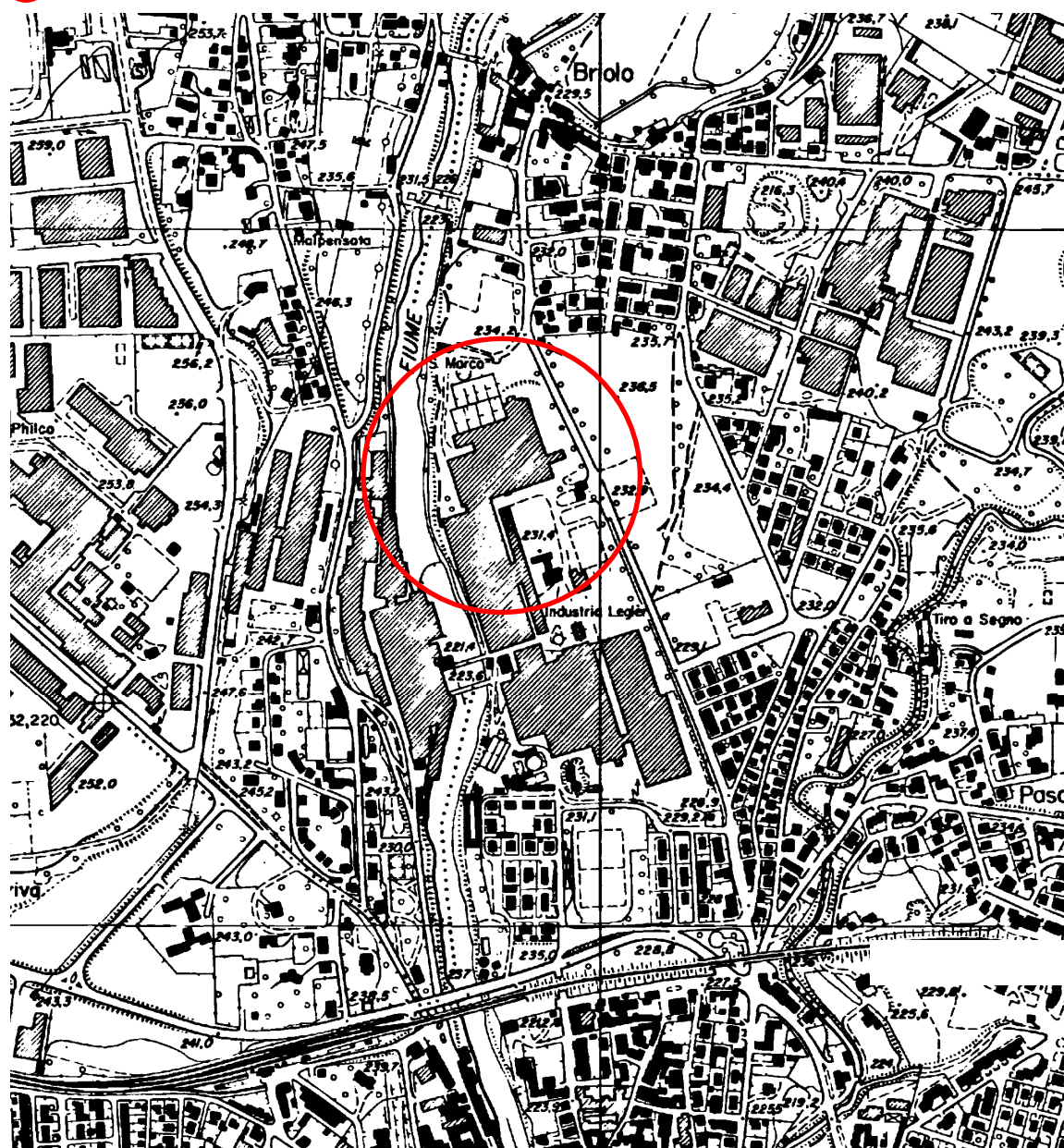
A seguito dell'incarico affidato dalla **Ditta ARUBA S.p.A.** con sede legale in Loc. Palazzetto, 4 a Bibbiena (AR), allo studio ECOGEO SRL, è stato effettuato uno studio geologico, geotecnico e sismico esteso ad un settore dell'area industriale dismessa ex-LEGLER S.p.A. ubicata in Via San Clemente, 57 in territorio comunale di Ponte S. Pietro (BG), di proprietà della committente.

In linea generale, dai dati raccolti, considerato quanto esposto in precedenza sulla base dell'indagine geognostica e delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche dell'area, emerge quanto segue:

- Geograficamente l'area di studio è situata nel comune di Ponte S. Pietro, nell'Alta Pianura Centrale Bergamasca, 5 Km a ovest di Bergamo. La quota media del piano campagna è di circa 232 m sul livello del mare;
- La struttura geologica del territorio comunale di Ponte S. Pietro (BG), è caratterizzata dalla presenza di unità formazionali quaternarie di origine continentale. In modo particolare nell'area affiorano depositi di origine fluvioglaciali appartenenti al COMPLESSO DEL BREMBO (*Pleistocene superiore*) costituita da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa; ciottoli arrotondati prevalentemente discoidali, con dimensioni medie variabili tra 2 e 10 cm, e dimensioni massime di 45 cm.
- L'andamento idrografico della zona è caratterizzato essenzialmente dalla presenza del fiume Brembo che, nell'area in esame, scorre incassato di qualche metro rispetto al livello fondamentale della pianura. Oltre al corso d'acqua principale è presente una fitta rete di canali che derivano acqua da questo; in particolare nell'area in esame si ricordano la Roggia Curna e la Roggia Curnino-Ceresino, oltre a tutta una serie di canali minori a scopo perlopiù irriguo.
- Il valore di piovosità media annua per l'area oggetto di studio è di 1200 mm.
- La falda idrica superficiale è ubicata, nella zona dove insiste l'insediamento della Ditta ARUBA S.p.A. e nell'immediato intorno, a quota di 205,00 – 210,00 m s.l.m. con una soggiacenza di circa 25,00 m dal piano campagna. Nell'area presa in esame, le direzioni di flusso presentano un andamento NE-SW. Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici e delle prove penetrometriche non è stata rinvenuta acqua di falda.
- L'area oggetto di indagine su cui si imposta l'insediamento di proprietà della ditta ARUBA S.p.A. risulta avere una vulnerabilità alta.

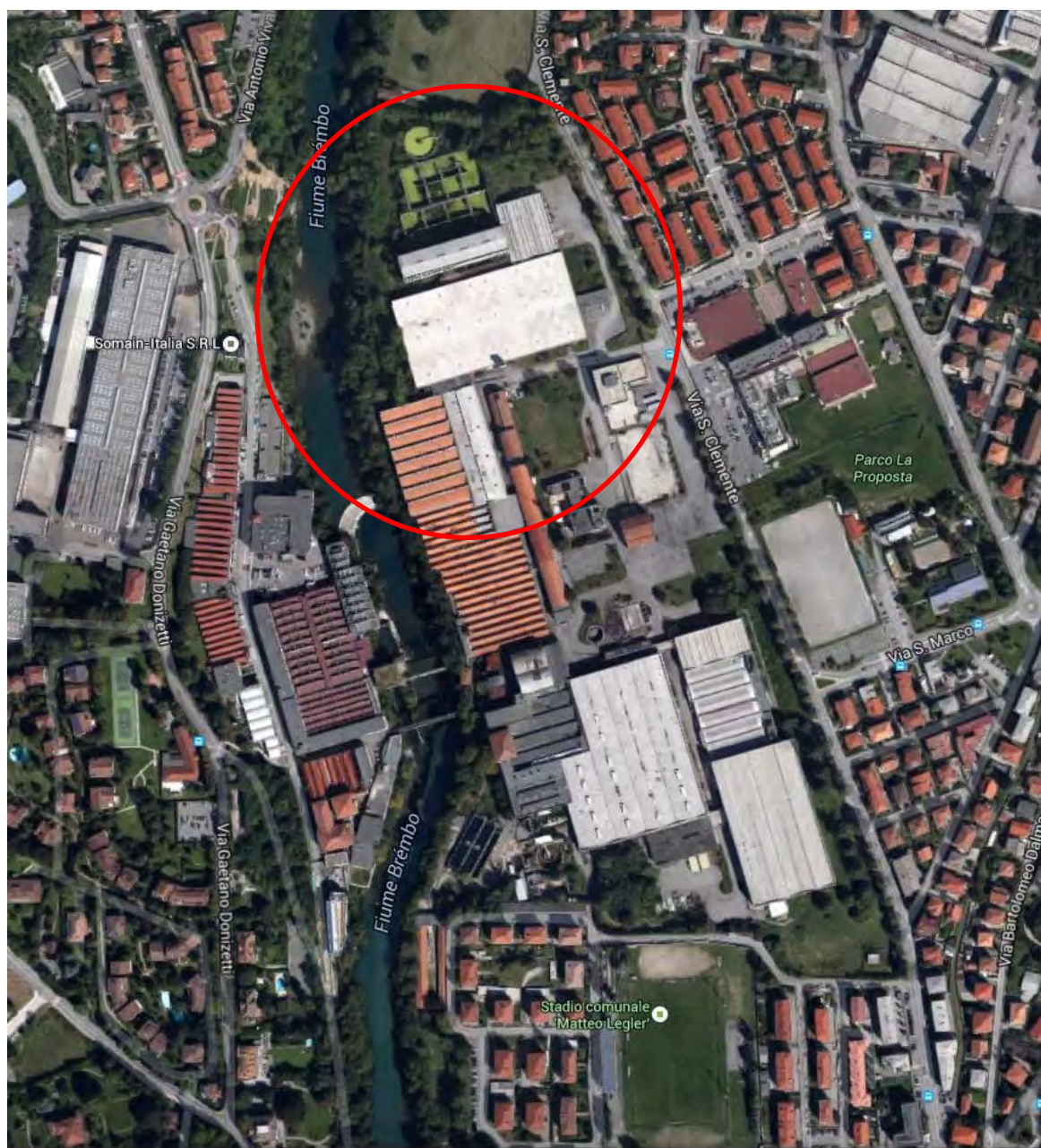
- Ai sensi della normativa tecnica antisismica vigente, l'area in esame ubicata in comune di Ponte San Pietro rientra nella Zona 3. Dalle indagini sismiche e geotecniche eseguite risulta che i terreni presenti nell'area di indagine appartengono alla categoria B, pertanto il V_{S30} risulta rientrare in valori 360 – 800 m/s.
- In prima analisi, in assenza di un progetto di massima per l'area in esame, per quanto riguarda il carico ammissibile del terreno alla profondità di posa delle fondazioni, ipotizzando una fondazione superficiale a plinto, sulla base di una media delle resistenze penetrometriche relative agli strati ubicati alla profondità interessata si può calcolare, secondo le teorie di Terzaghi e di Meyerhof e utilizzando la formula generale di Brinch-Hansen ed è pari a:
 - **quota: -1.0 m dal p.c. carico ammissibile $\sigma_{amm} = 2.0 \text{ kg/cm}^2$**
- Le prove di permeabilità tipo Lefranc a carico costante hanno fornito un valore del coefficiente di permeabilità dell'ordine $K = 10^{-1} \text{ cm/sec}$ alle profondità da 3.00-4.50 m da p.c.. Dai valori ottenuti dalle prove di permeabilità ai terreni presenti all'interno dell'area si assegna una capacità drenante buona.
- Per le verifiche agli stati limite e di esercizio in condizioni statiche e dinamiche si potranno utilizzare i parametri sismici riportati in Appendice 2 e, nell'ipotesi di impostazione delle fondazioni a ca -1,00 m dal p.c., i valori di angolo di attrito caratteristico $\varphi'k = 26,52^\circ$ e di angolo d'attrito di progetto per combinazioni contenenti M1 $\varphi'd = \varphi'k = 26,52^\circ$ mentre per combinazioni contenenti M2 $\varphi'd = 21,76^\circ$.
- **Eventuali plaghe e orizzonti soffici che potrebbero essere rinvenuti durante le operazioni di scavo a profondità tra i - 1,00 e i - 2,00 metri da p.c. potranno essere sostituiti con materiale idoneo.**

ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 1 – Inquadramento geografico scala 1:25.000***Tavoletta I.G.M. "Bergamo" F° 33 III S.E.* Area in esame

ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 2 - Inquadramento geografico scala 1:10.000***CTR Regione Lombardia Sez. B5e3, B5e4, C5a3 e C5a4* Area in esame

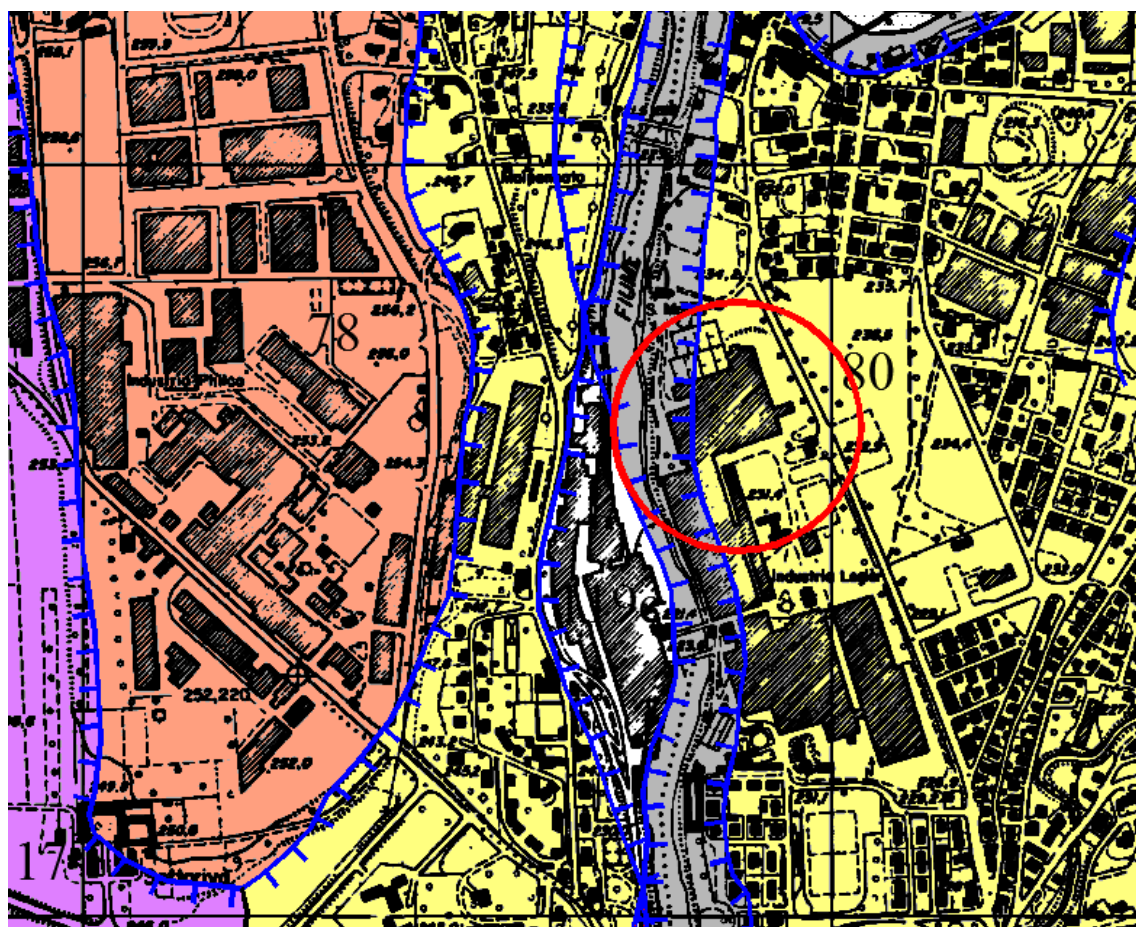
ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 3 - – Inquadramento da foto aerea**

Area in esame



ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 4 - Inquadramento geologico e geomorfologico – Scala 1:10.000**

Tratta da “Carta Geologica della Provincia di Bergamo” – scala 1:50.000

**Legenda****119 - UNITA' POSTGLACIALE:**

- | | |
|--|---|
| | 119c) Depositi alluvionali |
| | 119e) Depositi alluvionali in pianura con superficie limite sup. caratterizzata da Entisuoli |
| | 119g) Depositi alluvionali in pianura con superficie limite sup. caratterizzata da Inceptisuoli |

117 - COMLESSO DI PALAZZAGO

80 - COMLESSO DEL BREMBO

78 - UNITA' DI BREMBATE

70 - CEPPO DEL REMBO

65 - UNITA' DI CARVICO

Orli di terrazzi alluvionali

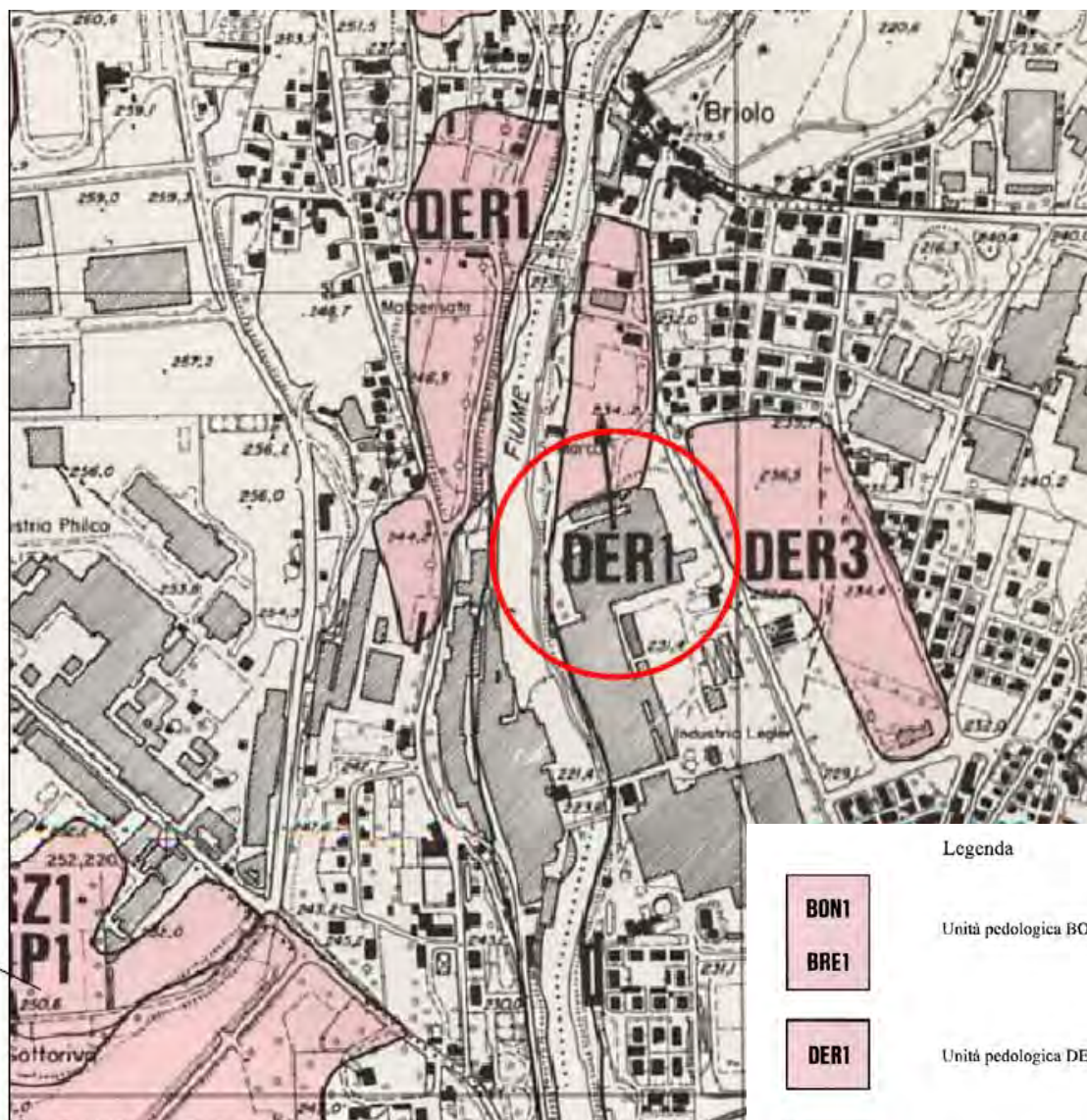
Ubicazione area oggetto di studio

ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 5 - Inquadramento pedologico scala 1:10.000**

Tratta da “I suoli dell’Isola Bergamsca”, Progetto “Carta Pedologica” – ERSAL 1990



Area in esame



Legenda

BON1**BRE1**

Unità pedologica BON1-BRE1

DER1

Unità pedologica DER1

DER3

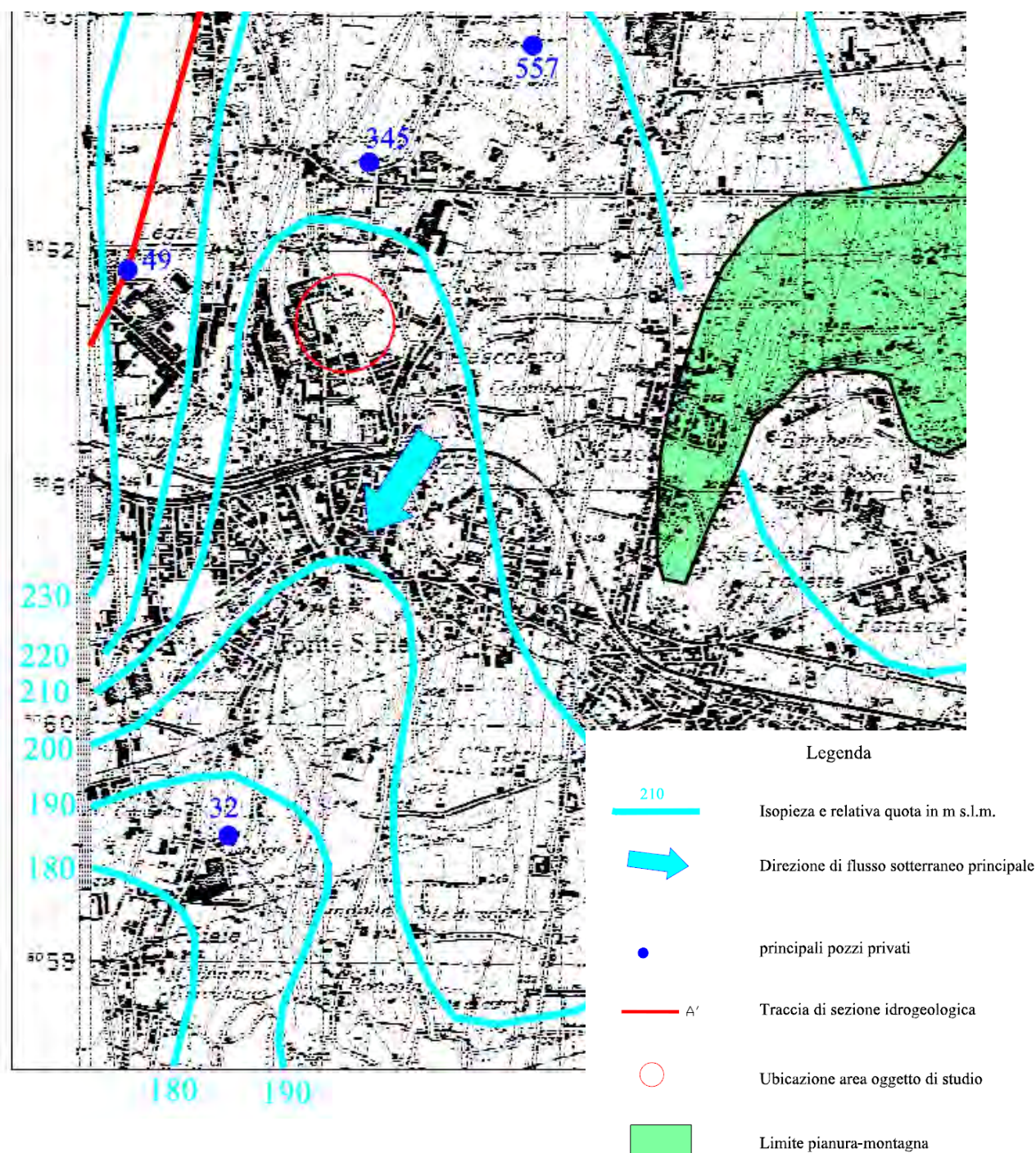
Unità pedologica DER3

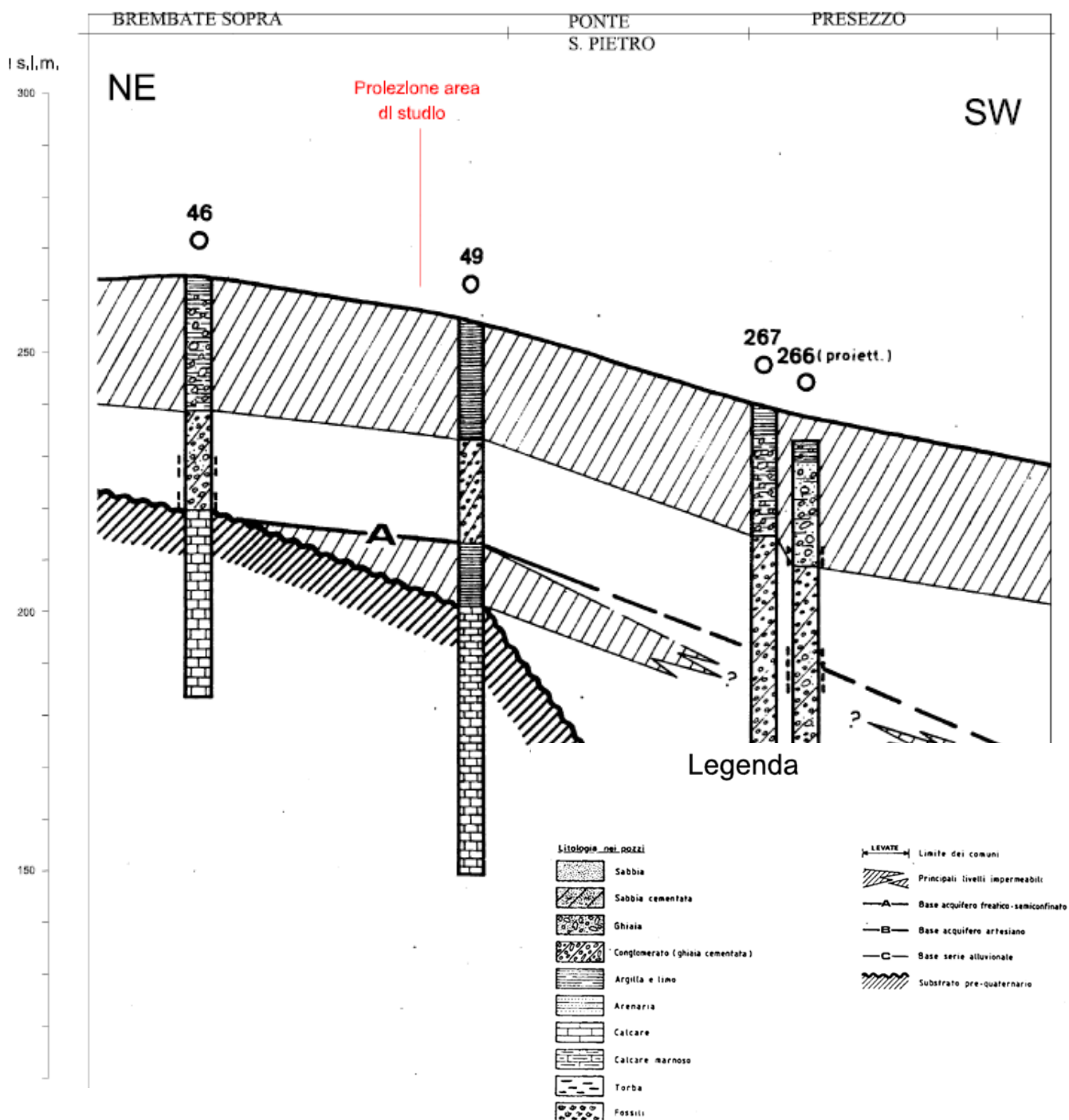
BRZ1**LUP1**

Unità pedologica BRZ1-LUP1

ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 6 - Inquadramento idrogeologico – scala 1:25.000**

Estratto da: Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca-
Studio di gestione coordinata delle acque di superficie e falda - Maggio 1991



ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 7 - Sezione idrogeologica****Estratto da: Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca-
Studio di gestione coordinata delle acque di superficie e falda - Maggio 1991**

ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Tavola 8 – Planimetria con ubicazione indagini geotecniche

ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Tavola 9 – Stratigrafia sondaggio SA

		Pr BG	Comune Ponte S. Pietro	Committente ARUBA S.p.A. Via S. Clemente, 53 - 24036 Ponte San Pietro (BG)		ns. Rif. P8645.dwg	SA	
		Carta Tecnica Regionale Regione Lombardia Sez. C5a2 - Ponte San Pietro		Coordinate chilometriche lat. 5 061 752 long. 1 545 784		Diametro Ø 101 mm		Ditta esecutrice ECOGEO srl
		Data inizio lavori 05.11.2015	Data fine lavori 05.11.2015	Quota p.c. 232 m slm	Profondita' totale 6.00 m da p.c.		L.S. non rinvenuto	

CAMPIONI	PRELIEVO CAMPIONI	POCKET	VANETEST	Prove S.P.T. n° colpi X 15 cm. n1 n2 n3	FALDA m	LEFRANC	Scala METRI	PROFILO STRATIGRAFIA	QUOTE PARZIALI (m)	PROFONDITA' DAL P.C. (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	R.Q.D. %	Varie
m da p.c.	Kg/cm²	Kg/cm²										20 40 60 80 100	
							1		0.20	0.20	Limo argilloso rosso con clasti centimetrici sparsi		TP1
						2	1.40		1.60	Ghiaie e sabbie grigie. I clasti sono da millimetrici a decimetrici, da subarrotondati a subangolosi, e poligenici.			
						3	4.40		6.00	Conglomerato da sano a fratturato. I clasti sono poligenici ed eterometrici, da sani ad alterati (phantomizzati).			
						4							
						5							
						6							
						7							
						8							
						9							
						10							
						11							
						12							
						13							
						14							
						15							
						16							
						17							
						18							
						19							
						20							
						21							
						22							
						23							
						24							
						25							

NOTE

Campione indisturbato
 Campione semi-indisturbato
 Campione rimaneggiato
 Prova di permeabilità in foro
 Filtri
 Geotessile

SPT con punta conica a 60°
TP1: CONTINUO
TP2: DISTRUZIONE
TC1: CAROTIERE SEMPLICE
TC2: CAROTIERE DOPPIO
TR : TRICONO

Visto: IL GEOLOGO

Pagina 1 di 1

		Pr BG	Comune Ponte S. Pietro	Committente ARUBA S.p.A. Via S. Clemente, 53 - 24036 Ponte San Pietro (BG)		ns. Rif. P8645.dwg	SA
		Carta Tecnica Regionale Regione Lombardia Sez. C5a2 - Ponte San Pietro		Coordinate chilometriche lat. 5 061 752 long. 1 545 784		Diametro Ø 101 mm	
		Data inizio lavori 05.11.2015	Data fine lavori 05.11.2015	Quota p.c. 232 m slm	Profondita' totale 6.00 m da p.c.	L.S. non rinvenuto	

CAMPIONI	PRELIEVO CAMPIONI	POCKET	VANETEST	Prove S.P.T. n° colpi X 15 cm. n1 n2 n3	FALDA m	LEFRANC	Scala METRI	PROFILO STRATIGRAFIA	QUOTE PARZIALI (m)	PROFONDITA' DAL P.C. (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	R.Q.D. %	Varie
							1		0.20 1.40	0.20 1.60	Limo argilloso rosso con clasti centimetrici sparsi		TP1
						2				Ghiaie e sabbie grigie. I clasti sono da millimetrici a decimetrici, da subarrotondati a subangolosi, e poligenici.			
						3							
						4			4.40		Conglomerato da sano a fratturato. I clasti sono poligenici ed eterometrici, da sani ad alterati (phantomizzati).		
						5							
						6				6.00			
							7						
							8						
							9						
							10						
							11						
							12						
							13						
							14						
							15						
							16						
							17						
							18						
							19						
							20						
							21						
							22						
							23						
							24						
							25						

NOTE

Campione indisturbato
 Campione semi-indisturbato
 Campione rimaneggiato
 Prova di permeabilita' in foro
 Filtri
 Geotessile

SPT con punta conica a 60°
TP1: CONTINUO
TP2: DISTRUZIONE
TC1: CAROTIERE SEMPLICE
TC2: CAROTIERE DOPPIO
TR : TRICONO

Visto: IL GEOLOGO

Pagina 1 di 1

ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Tavola 10 – Stratigrafia sondaggio SB

		Pr BG	Comune Ponte S. Pietro	Committente ARUBA S.p.A. Via S. Clemente, 53 - 24036 Ponte San Pietro (BG)		ns. Rif. P8646.dwg	SB
		N./SER./CAT.					
Carta Tecnica Regionale Regione Lombardia Sez. C5a2 - Ponte San Pietro		Coordinate chilometriche lat. 5 061 585 long. 1 545 889		Diametro Ø 101 mm		Ditta esecutrice ECOGEO srl	
Data inizio lavori 04.11.2015		Data fine lavori 04.11.2015		Quota p.c. 232 m slm		Profondita' totale 10.00 m da p.c.	
						L.S. non rinvenuto	

CAMPIONI	PRELIEVO CAMPIONI	POCKET	VANETEST	Prove S.P.T. n° colpi X 15 cm. n1 n2 n3	FALDA m	LEFRANC	Scala METRI	PROFILO STRATIGRAFIA	QUOTE PARZIALI (m)	PROFONDITA' DAL P.C. (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	R.Q.D. %	Varie	
m da p.c.	Kg/cm²	Kg/cm²										20 40 60 80 100		
1	2.00 2.50			-3.00 10 6 7		SB-K1 04.11.15	1		0.50	0.50	Limbo argilloso rosso-bruno con presenza di clasti centimetrici da subarrotondati a subangolosi		TP1	
					2									
					3									
					4									
					5									
					6									
					7									
					8									
					9									
					10									
2	6.50 7.50			-6.00 R			11		9.50	10.00	Ghiaie e sabbie grigie. I clasti sono poligenici, da millimetrici a decimetrici (> 10 cm), e da arrotondati a subangolosi. Si notano nello strato alcune lievi variazioni granulometriche: - tra 3 m e 4,5 m aumenta la frazione limosa della matrice e la dimensione massima dei clasti diminuisce; - tra 6 m e 10 m i clasti diventano più grossolani e la matrice diventa più sabbiosa.			
				-9.00 R			12							
							13							
							14							
							15							
							16							
							17							
							18							
							19							
							20							
							21							
							22							
							23							
							24							
							25							

NOTE

- Campione indisturbato
- Campione semi-indisturbato
- Campione rimaneggiato
- Prova di permeabilità in foro
- Filtri
- Geotessile

- SPT con punta conica a 60°
- TP1: CONTINUO
- TP2: DISTRUZIONE
- TC1: CAROTIERE SEMPLICE
- TC2: CAROTIERE DOPPIO
- TR : TRICONO

Visto: IL GEOLOGO

Pagina 1 di 1

		Pr BG	Comune Ponte S. Pietro	Committente ARUBA S.p.A. Via S. Clemente, 53 - 24036 Ponte San Pietro (BG)		ns. Rif. P8646.dwg	SB
		N./SER./CAT.					
Carta Tecnica Regionale Regione Lombardia Sez. C5a2 - Ponte San Pietro		Coordinate chilometriche lat. 5 061 585 long. 1 545 889		Diametro Ø 101 mm		Ditta esecutrice ECOGEO srl	
Data inizio lavori 04.11.2015		Data fine lavori 04.11.2015		Quota p.c. 232 m slm		Profondita' totale 10.00 m da p.c.	
						L.S. non rinvenuto	

CAMPIONI	PRELIEVO CAMPIONI	POCKET	VANETEST	Prove S.P.T. n° colpi X 15 cm. n1 n2 n3	FALDA m	LEFRANC	Scala METRI	PROFILO STRATIGRAFIA	QUOTE PARZIALI (m)	PROFONDITA' DAL P.C. (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	R.Q.D. %	Varie	
m da p.c.	Kg/cm²	Kg/cm²										20 40 60 80 100		
1	2.00 2.50			-3.00 10 6 7		SB-K1 04.11.15	1		0.50	0.50	Limbo argilloso rosso-bruno con presenza di clasti centimetrici da subarrotondati a subangolosi		TP1	
					2									
					3									
					4									
					5									
					6									
					7									
					8									
					9									
					10									
2	6.50 7.50			-6.00 R			11		9.50	10.00	Ghiaie e sabbie grigie. I clasti sono poligenici, da millimetrici a decimetrici (> 10 cm), e da arrotondati a subangolosi. Si notano nello strato alcune lievi variazioni granulometriche: - tra 3 m e 4,5 m aumenta la frazione limosa della matrice e la dimensione massima dei clasti diminuisce; - tra 6 m e 10 m i clasti diventano più grossolani e la matrice diventa più sabbiosa.			
				-9.00 R			12							
							13							
							14							
							15							
							16							
							17							
							18							
							19							
							20							
							21							
							22							
							23							
							24							
							25							

NOTE

- Campione indisturbato
- Campione semi-indisturbato
- Campione rimaneggiato
- Prova di permeabilità in foro
- Filtri
- Geotessile

- SPT con punta conica a 60°
- TP1: CONTINUO
- TP2: DISTRUZIONE
- TC1: CAROTIERE SEMPLICE
- TC2: CAROTIERE DOPPIO
- TR : TRICONO

Visto: IL GEOLOGO

Pagina 1 di 1

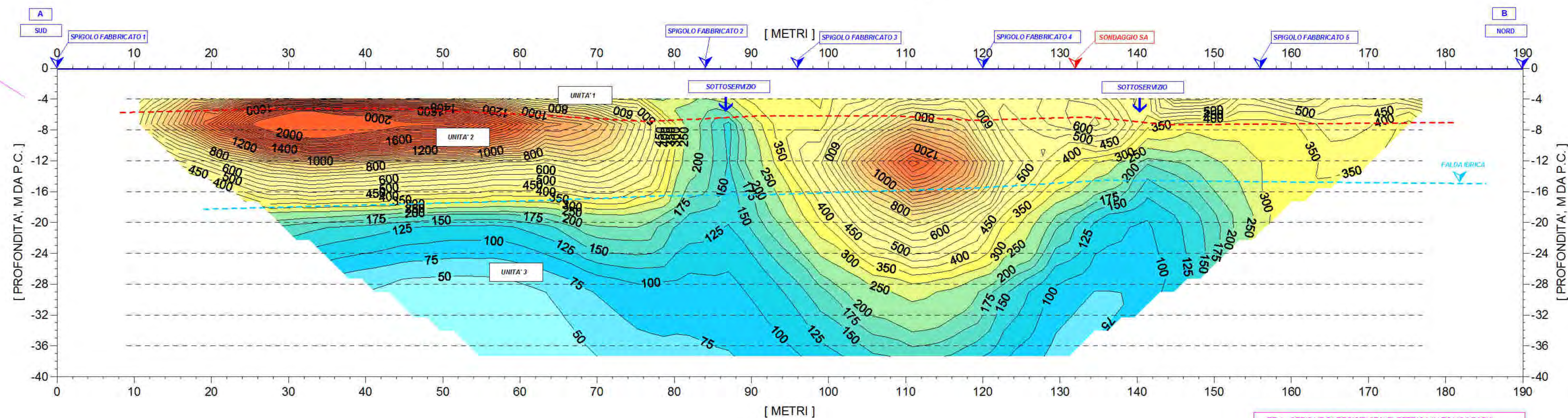
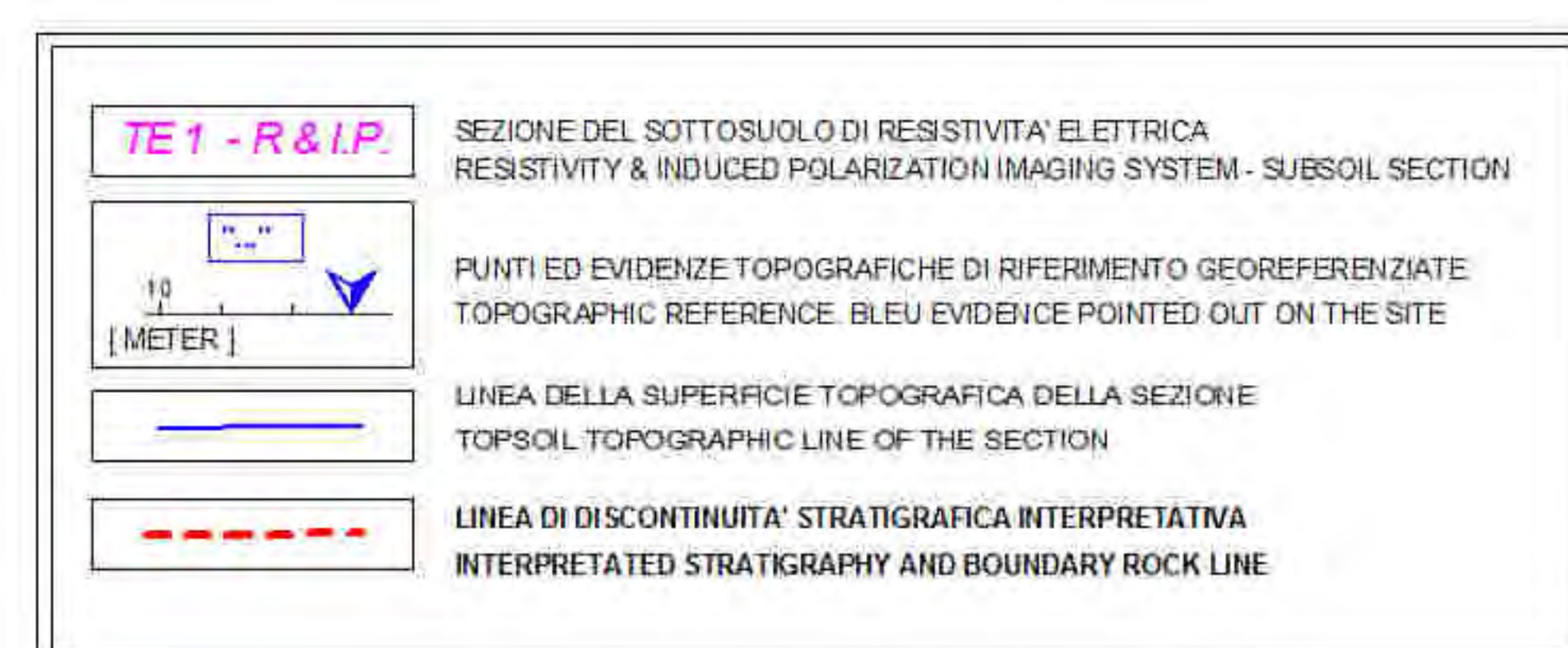
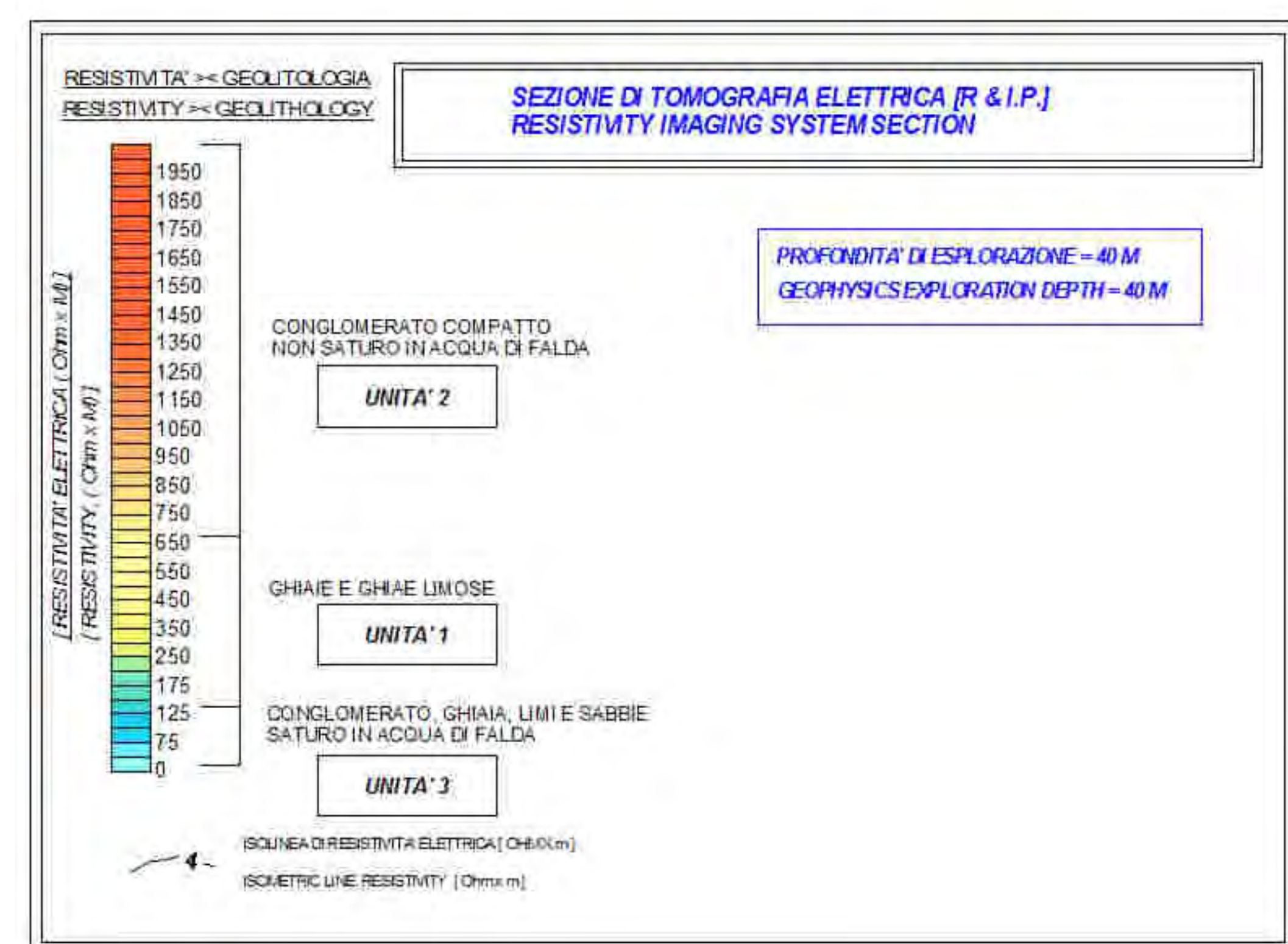
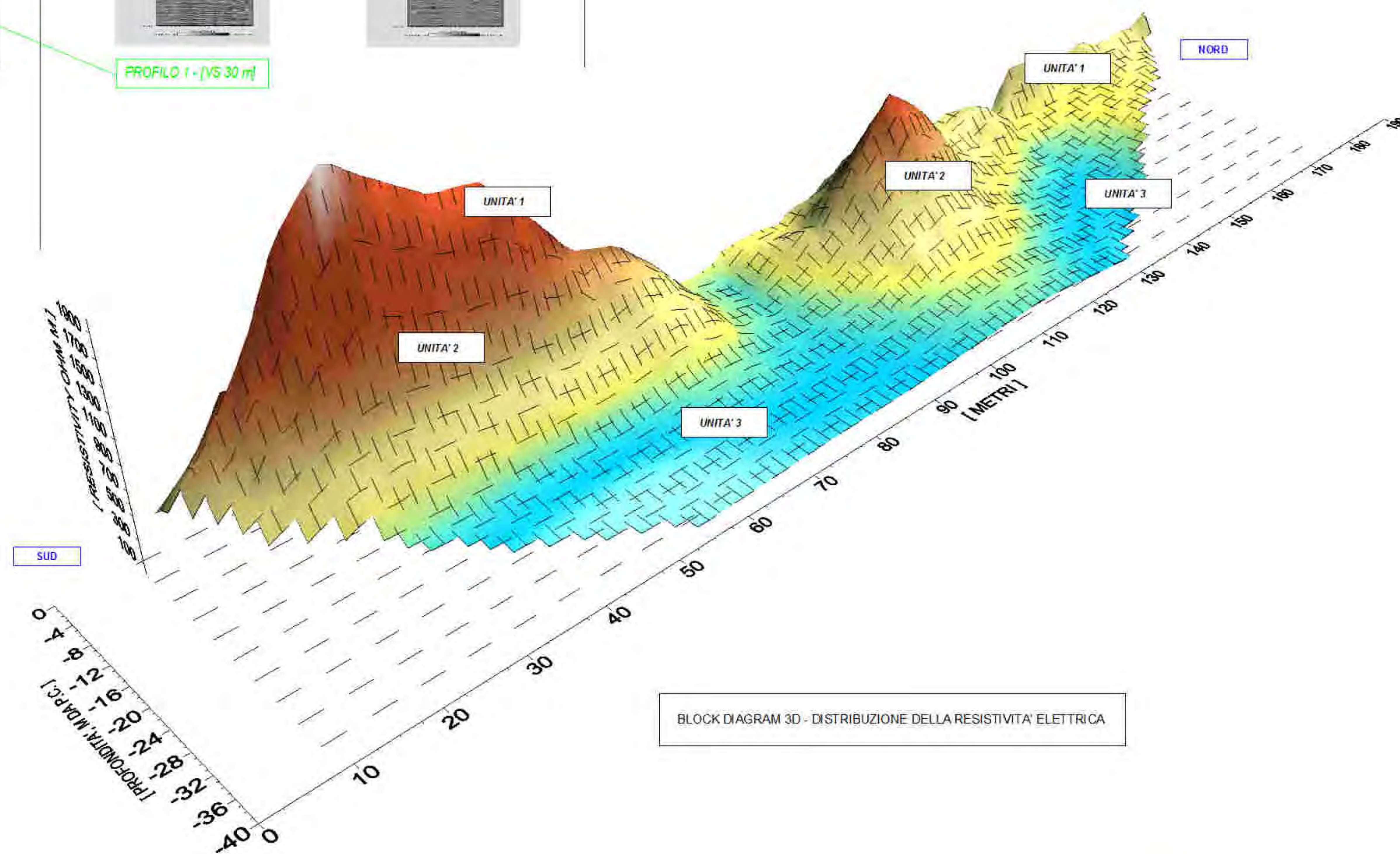
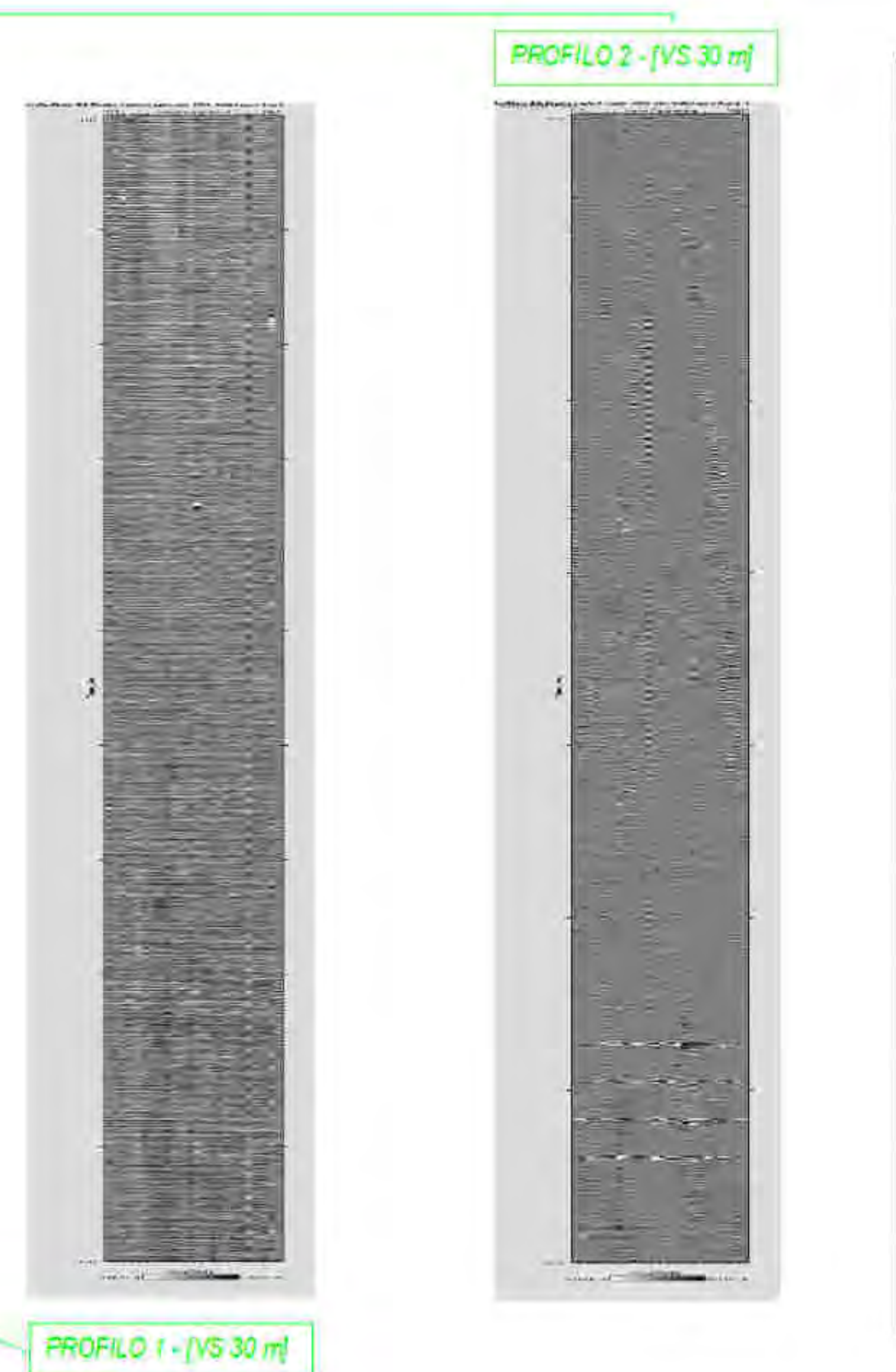
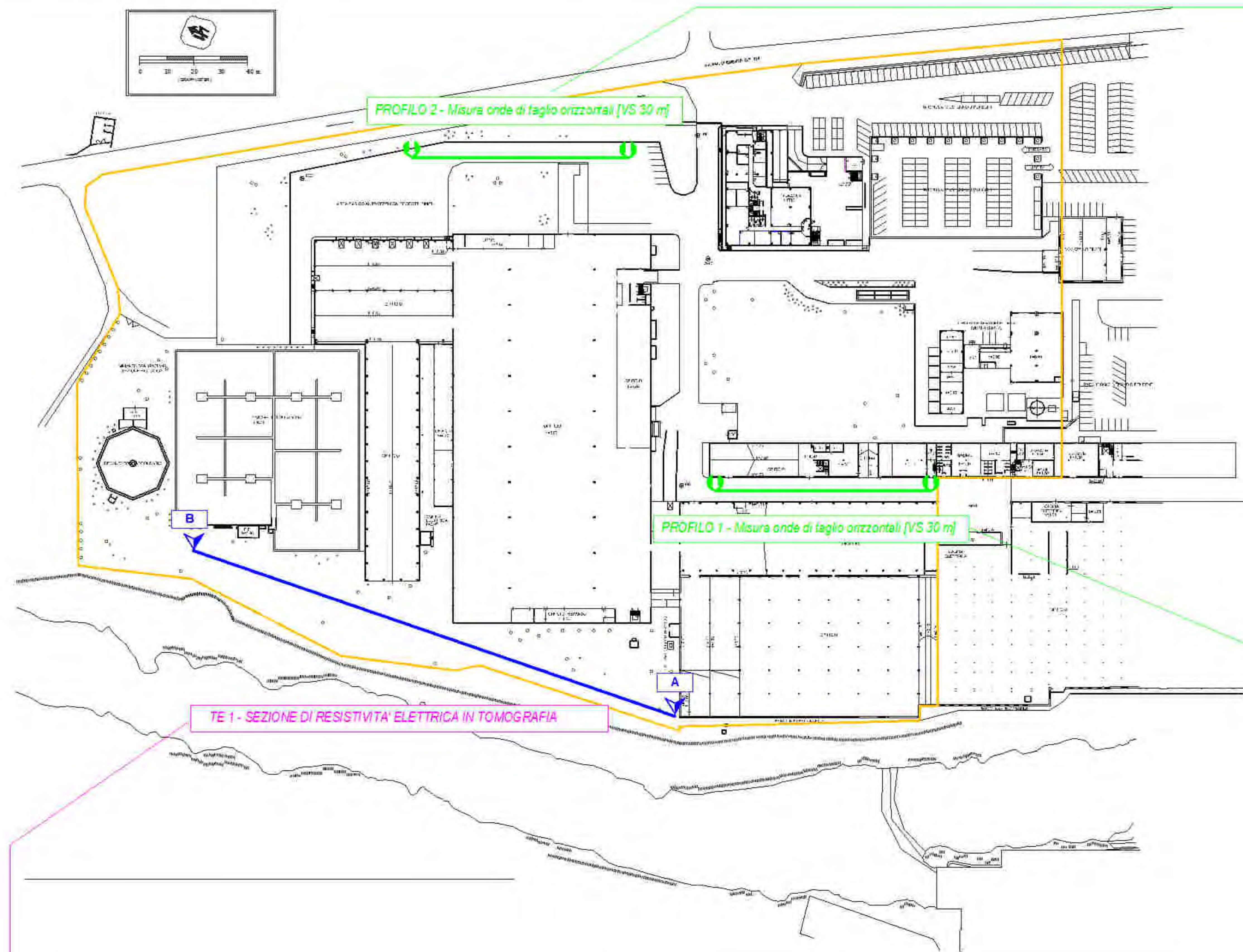
ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Tavola 11 – Planimetria e sezioni indagine geofisica Tomografia Elettrica

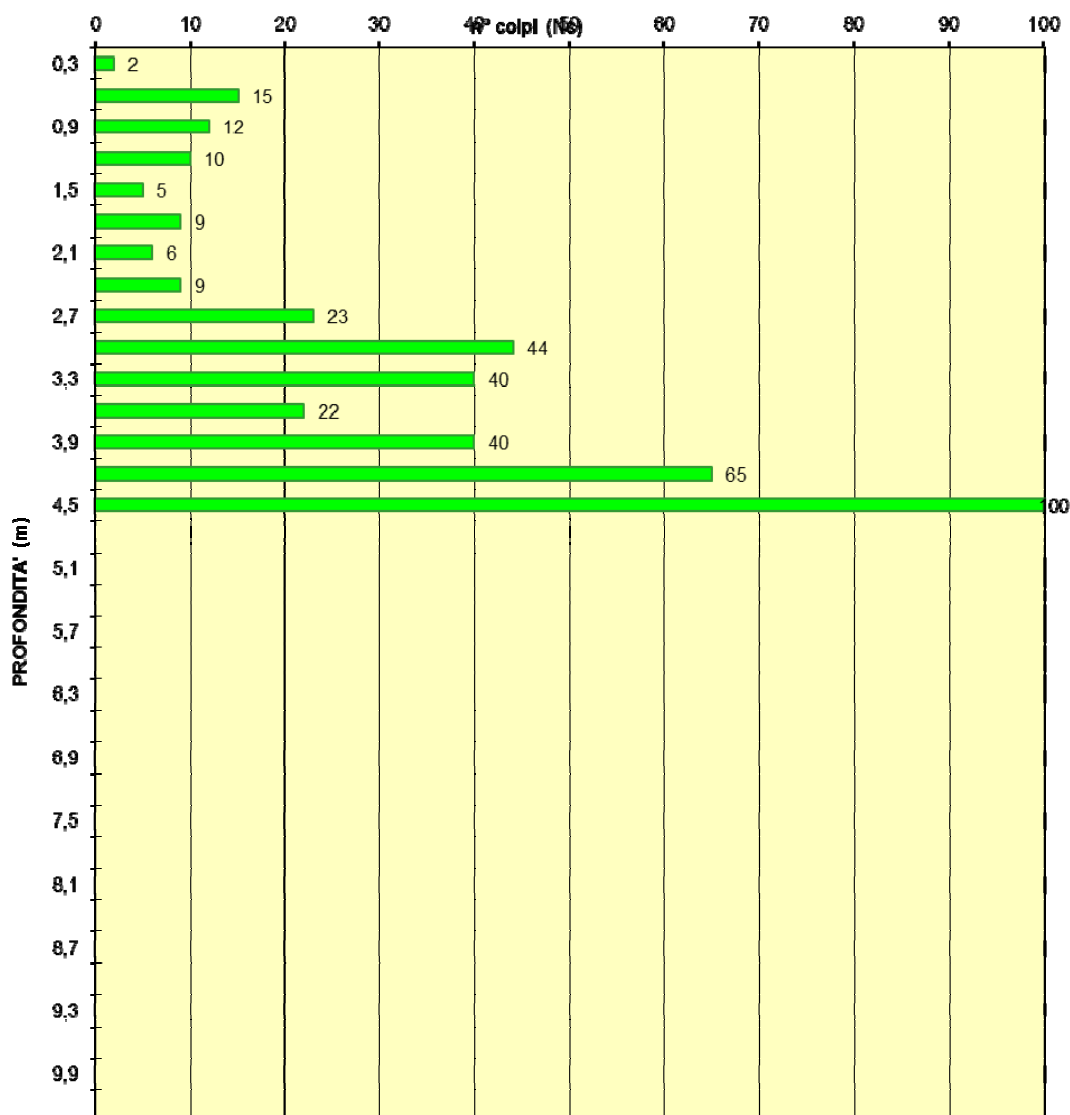


TE 1 - SEZIONE DI RESISTIVITA' ELETTRICA IN TOMOGRAFIA
TE 1 - RESISTIVITY & INDUCED POLARIZATION IMAGING SYSTEM

	DATA 29/10/2015	AGGIORNAMENTO P8647.dwg
COMMITTENTE ARUBA S.p.A. Loc. Palazzetto, 4 - 52011 Bibbiena (AR) Insediamento: Area EX-LEGLER Via Clemente, 53 24036 Ponte San Pietro (BG)		
PROGETTO INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX-LEGLER IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)		
DISEGNO Indagine geofisica Tomografia Elettrica	RELAZIONE PG/12569/15	TAVOLA 11
PROGETTO ECOGEO S.R.L. Moretti, Diego	ELABORAZIONE INFORMATICA ULTIMATI DI LEGGE SI RISERVA LA PROPRIETA' DEL PRESENTE ELABORATO CON DIVIETO DI RENDERSI NOTO A TERZI SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE SCRITTA.	DIREZIONE TECNICA Dott. Geol. Diego Marsetti
IL PROFESSIONISTA Dott. Geol. Diego Marsetti	IL PROFESSIONISTA Dott. Geol. Alberto Pagani	IL PROFESSIONISTA Dott. Geol. Diego Marsetti

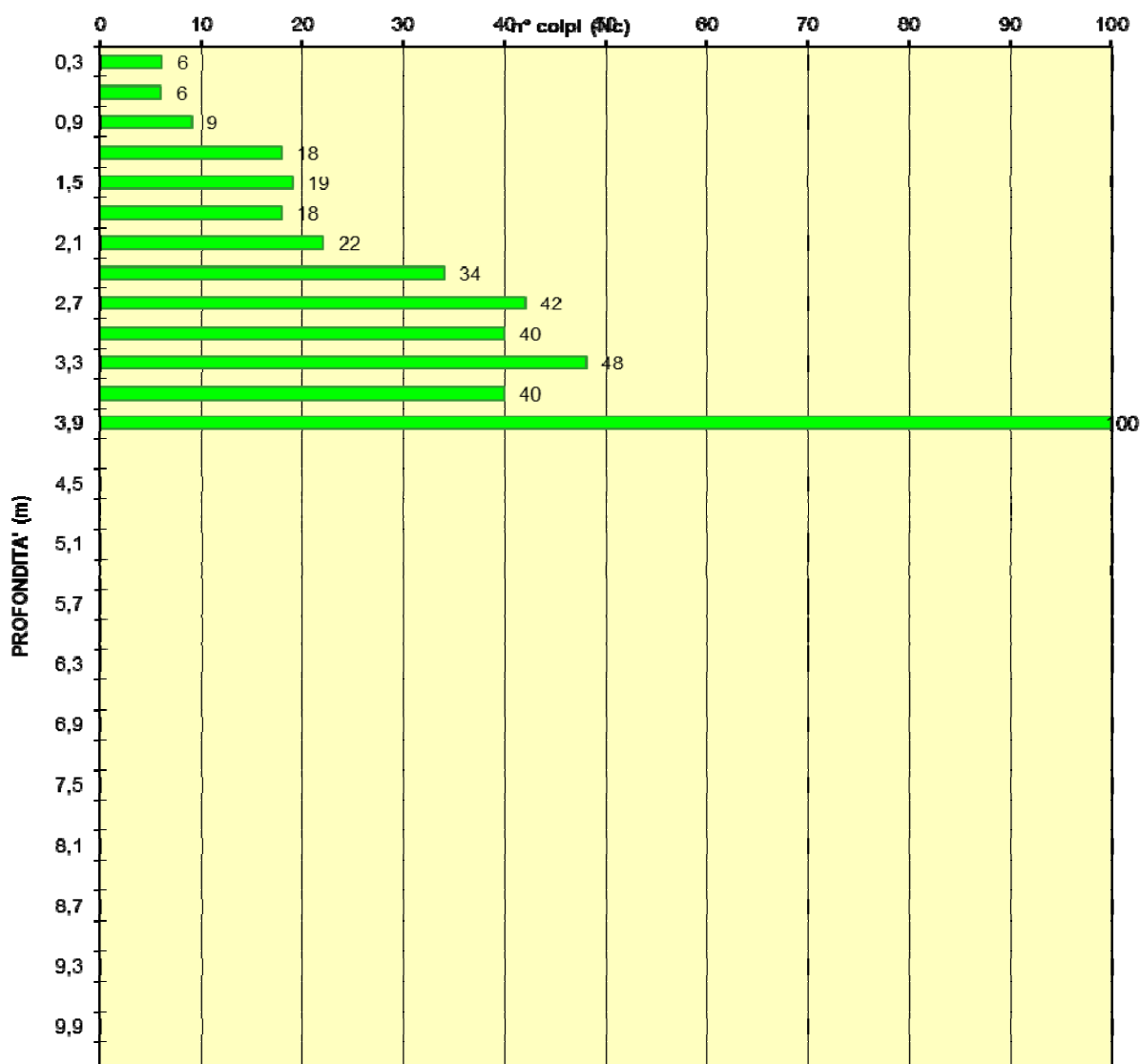
ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 12 – Diagramma prova penetrometrica P1**

PROVA PENETROMETRICA N° 1		STANDARD S.C.P.T.	
Data:	29.10.2015	Peso mazza:	73.5 Kg
Località:	area EX LEGLER Via San Clemente, 57 – 24036 Ponte San Pietro (BG)	Volata:	75 cm
Committente:	ARUBA S.p.A.	Ø punta:	51 mm



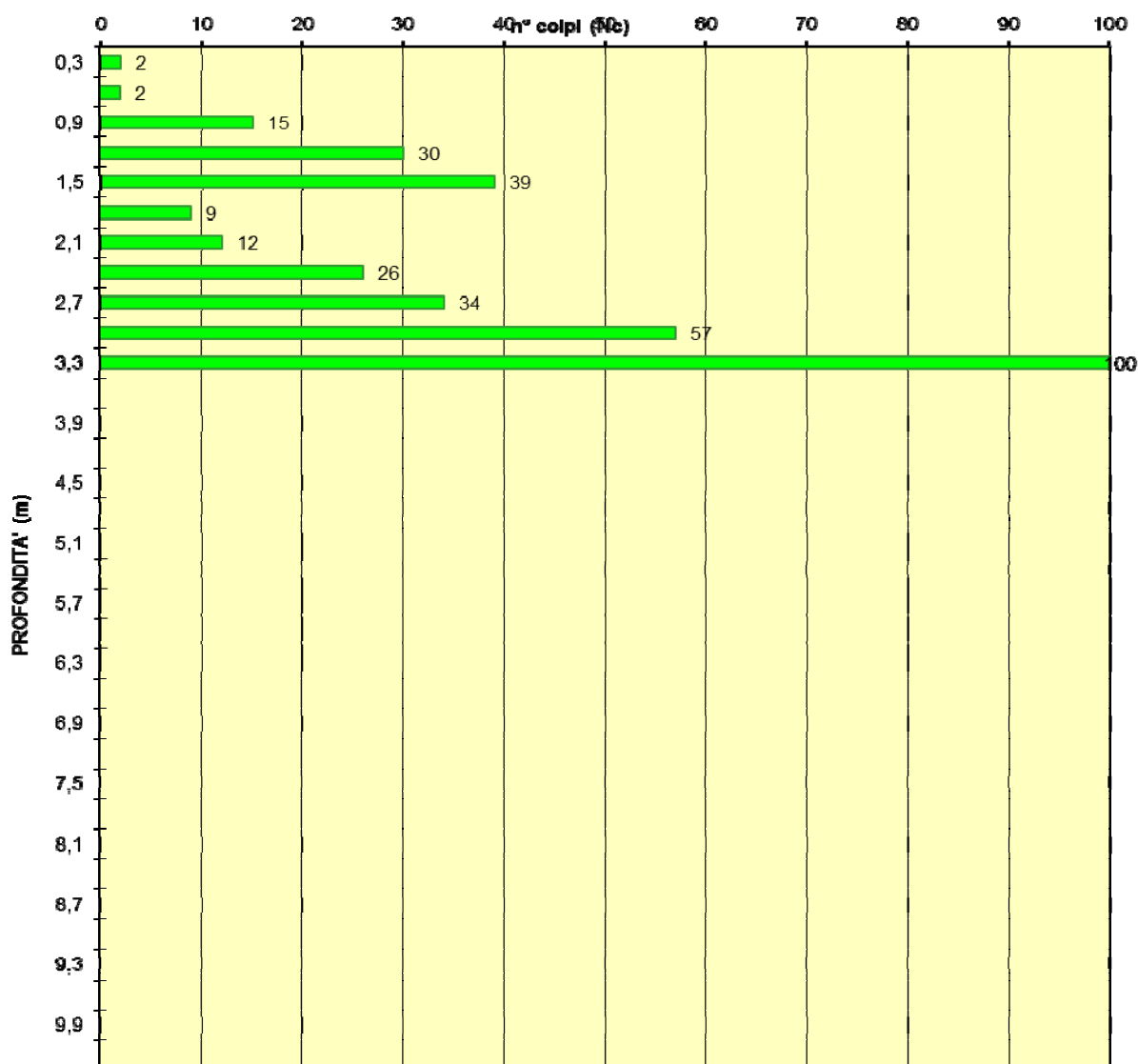
ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 13 – Diagramma prova penetrometrica P2**

PROVA PENETROMETRICA N° 2		STANDARD S.C.P.T.	
Data:	29.10.2015	Peso mazza:	73.5 Kg
Località:	area EX LEGLER Via San Clemente, 57 – 24036 Ponte San Pietro (BG)	Volata:	75 cm
Committente:	ARUBA S.p.A.	Ø punta:	51 mm



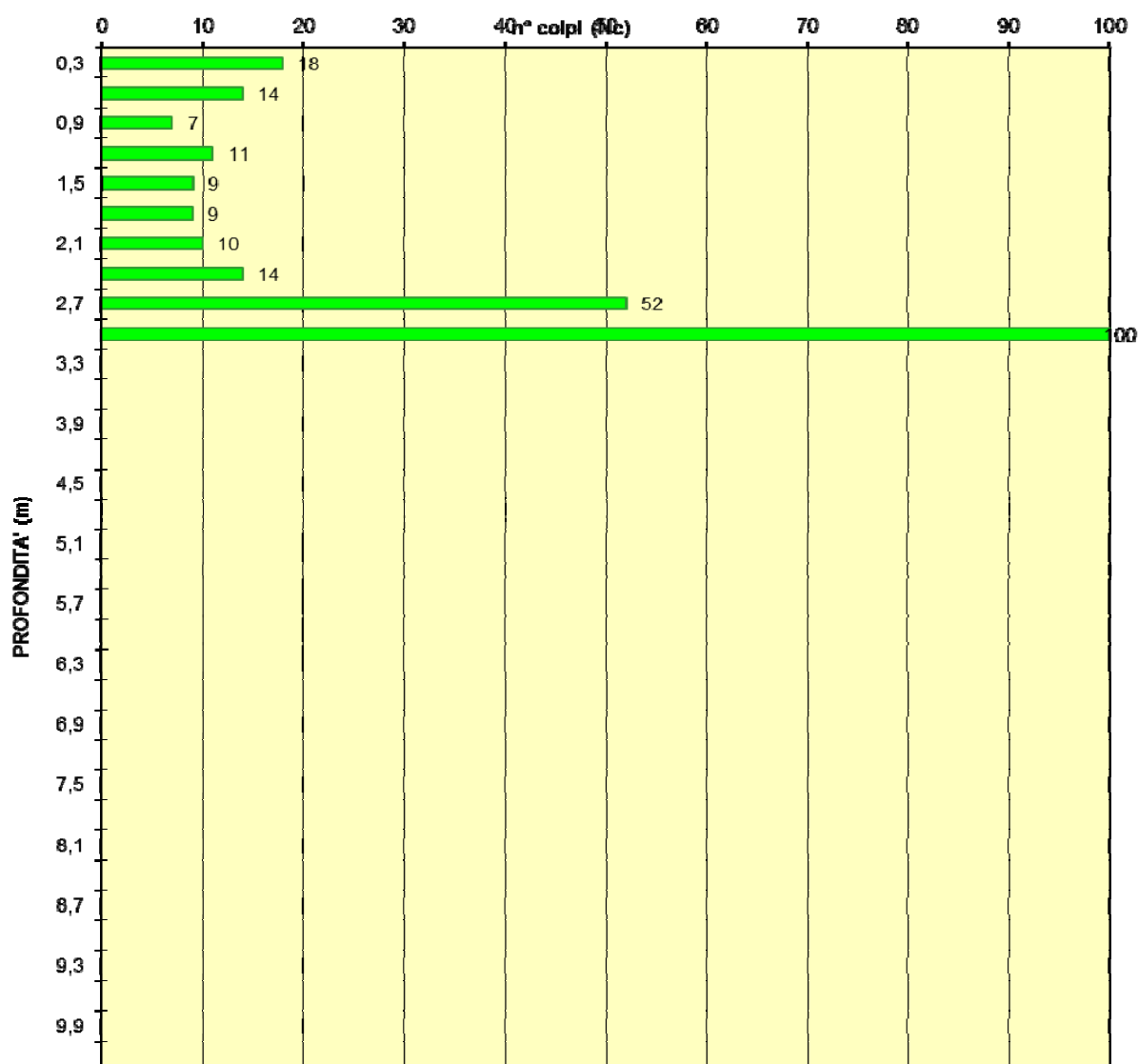
ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 14 – Diagramma prova penetrometrica P3**

PROVA PENETROMETRICA N° 3		STANDARD S.C.P.T.	
Data:	29.10.2015	Peso mazza:	73.5 Kg
Località:	area EX LEGLER Via San Clemente, 57 – 24036 Ponte San Pietro (BG)	Volata:	75 cm
Committente:	ARUBA S.p.A.	Ø punta:	51 mm



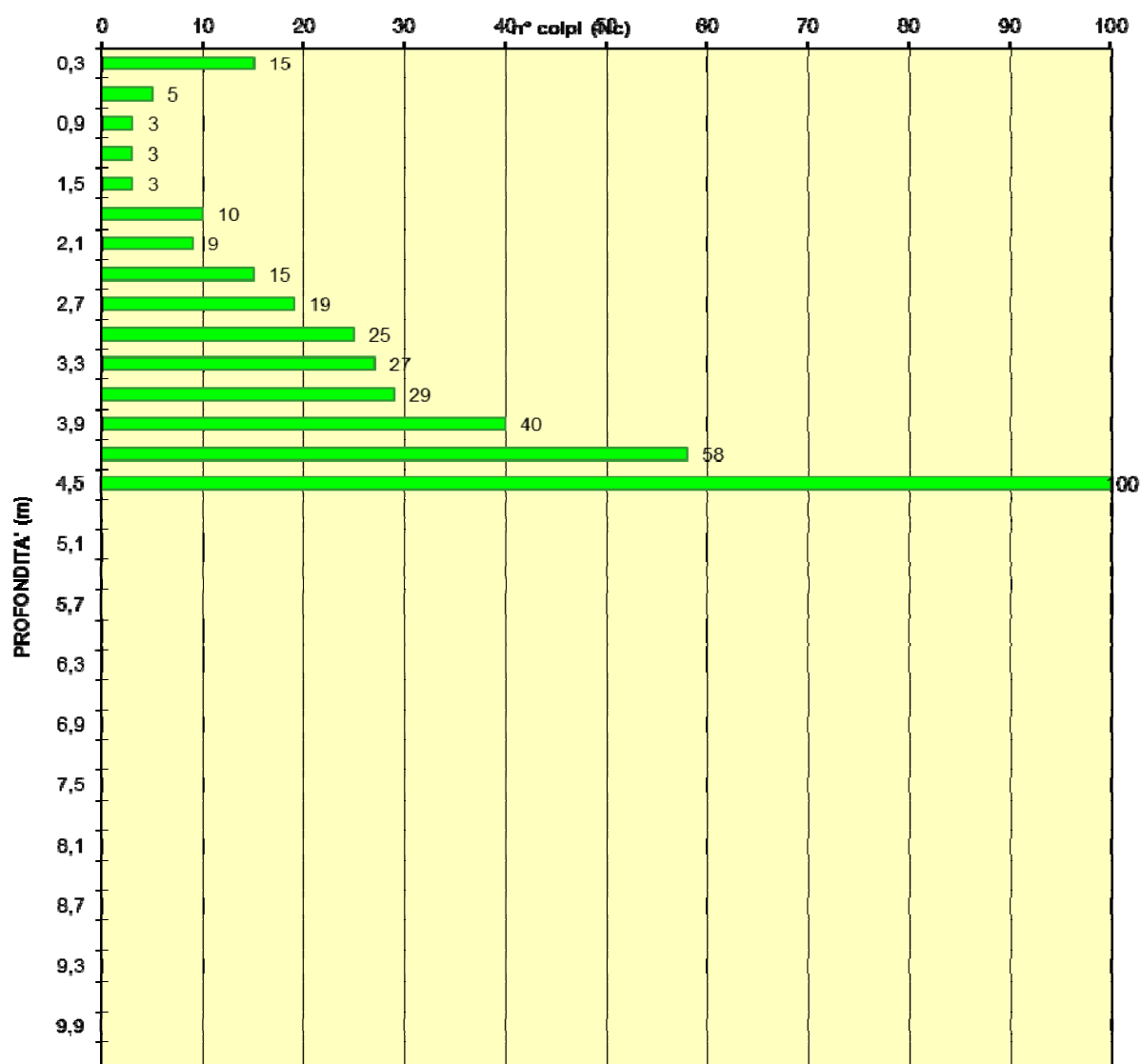
ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 15 – Diagramma prova penetrometrica P4**

PROVA PENETROMETRICA N° 4		STANDARD S.C.P.T.	
Data:	29.10.2015	Peso mazza:	73.5 Kg
Località:	area EX LEGLER Via San Clemente, 57 – 24036 Ponte San Pietro (BG)	Volata:	75 cm
Committente:	ARUBA S.p.A.	Ø punta:	51 mm



ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Tavola 16 – Diagramma prova penetrometrica P5**

PROVA PENETROMETRICA N° 5		STANDARD S.C.P.T.	
Data:	29.10.2015	Peso mazza:	73.5 Kg
Località:	area EX LEGLER Via San Clemente, 57 – 24036 Ponte San Pietro (BG)	Volata:	75 cm
Committente:	ARUBA S.p.A.	Ø punta:	51 mm



ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Tavola 17 – Prove di permeabilità Lefranc a carico costante

Raccomandazioni A.G.I. (1977 - Cap. 6)



ECOGEO s.r.l.

ANALISI E TECNOLOGIE D'AMBIENTE
Sede: Via F.lli Calvi n° 2 - 24122 Bergamo
Tel. 035 / 27.11.55 - Fax 035 / 23.98.82
P. IVA 03051330169 <http://www.ecogeo.net>

**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =**

PROVA DI PERMEABILITÀ IN FORO - CARICO COSTANTE

Raccomandazioni A.G.I. (1977)

Data di esecuzione: 05/11/2015

Relazione: Rif. REL.PG/12569/15

Data di emissione: 05/11/2015

Strumentazione utilizzata: Beretta T44

Committente: Aruba S.p.A.

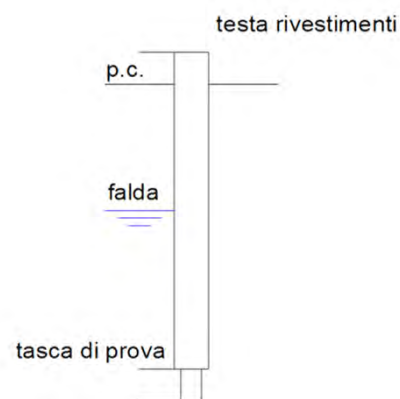
Sondaggio: SA

Località: Via San Clemente, 53 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

Prova: K1

CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA

DIAMETRO RIVESTIMENTO	12,7	cm
DIAMETRO TASCA (d)	10,1	cm
AREA TASCA SONDAGGIO	80,12	cm ²
PROFONDITÀ SONDAGGIO	3,20	m
LUNGHEZZA TASCA	170	cm
TESTA RIVESTIMENTI DA P.C.	30	cm
QUOTA FALDA DA P.C.	assente	m



CARATTERISTICHE DELLA PROVA

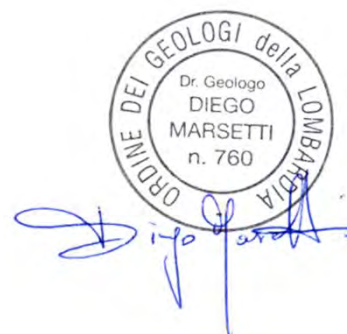
PORTATA COSTANTE IMMESSA (Q)	1,43	l/s
LIVELLO DINAMICO RISPETTO AL P.C.	+240	cm
BATTENTE IDRICO RISPETTO ALLA BASE DEL FORO (h)	80	cm

COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ CALCOLATO

$$K = Q / (C_f * d * h) \quad 6,21E-01 \quad (\text{cm/sec})$$

N.B. $C_f = 2,85$ (adimensionale)

Ecogeo S.r.l.
Dott. Geol. Diego Marsetti



**ECOGEO s.r.l.**

ANALISI E TECNOLOGIE D'AMBIENTE
Sede: Via F.lli Calvi n° 2 - 24122 Bergamo
Tel. 035 / 27.11.55 - Fax 035 / 23.98.82
P. IVA 03051330169 <http://www.ecogeo.net>

**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =**

PROVA DI PERMEABILITÀ IN FORO - CARICO COSTANTE

Raccomandazioni A.G.I. (1977)

Data di esecuzione: 04/11/2015

Relazione: Rif. REL.PG/12569/15

Data di emissione: 04/11/2015

Strumentazione utilizzata: Beretta T44

Committente: Aruba S.p.A.

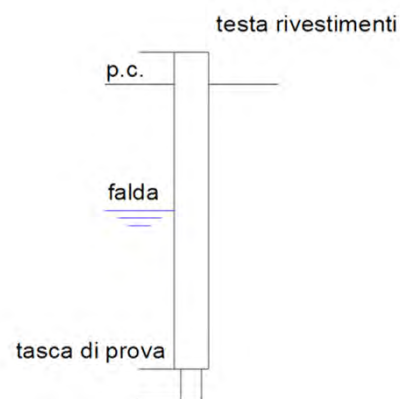
Sondaggio: SB

Località: Via San Clemente, 53 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

Prova: K1

CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA

DIAMETRO RIVESTIMENTO	12,7	cm
DIAMETRO TASCA (d)	10,1	cm
AREA TASCA SONDAGGIO	80,12	cm ²
PROFONDITÀ SONDAGGIO	3,70	m
LUNGHEZZA TASCA	70	cm
TESTA RIVESTIMENTI DA P.C.	30	cm
QUOTA FALDA DA P.C.	assente	m



CARATTERISTICHE DELLA PROVA

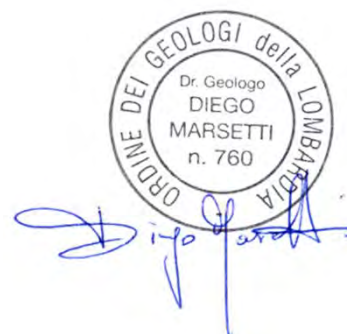
PORTATA COSTANTE IMMESSA (Q)	1,43	l/s
LIVELLO DINAMICO RISPETTO AL P.C.	+200	cm
BATTENTE IDRICO RISPETTO ALLA BASE DEL FORO (h)	170	cm

COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ CALCOLATO

$$K = Q / (C_f * d * h) \quad 2,92E-01 \quad (\text{cm/sec})$$

N.B. $C_f = 2,85$ (adimensionale)

Ecogeo S.r.l.
Dott. Geol. Diego Marsetti



ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Tavola 18 – Risultati analisi granulometriche

**ECOGEO s.r.l.**

ANALISI E TECNOLOGIE D'AMBIENTE

Sede: Via F.lli Calvi n° 2 - 24122 Bergamo

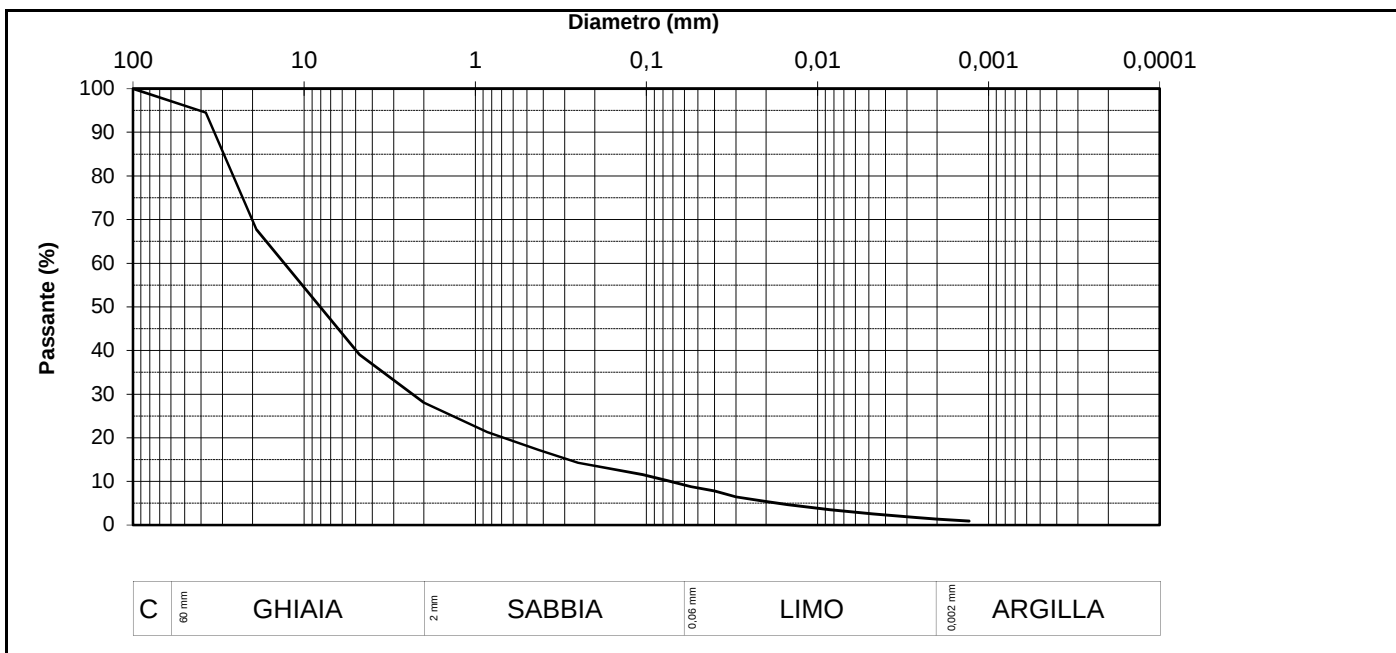
Tel. 035 / 27.11.55 - Fax 035 / 23.98.82

P. IVA 03051330169 <http://www.ecogeo.net>**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =**Rapporto di prova n° **AL/00099/15**Data di emissione: **12/11/2015****ANALISI GRANULOMETRICA**

A.S.T.M. D 422/90

Rif. REL.PG/12569/15

Pag.1 di 1

Committente: **Aruba S.p.A.**Data di campionamento **05/11/2015**Provenienza: **Sondaggio SB - Ponte San Pietro (BG)**Data di ricevimento **05/11/2015**Campione: **C1**Profondità: **2,0 - 2,5 m da p.c.**Prelevato da: **Dott. Geol. Diego Marsetti**Cod. Campione **99**

SETACCIATURA				AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG	
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318/95	
75	0,00	100,00	0,00	0,055	8,75	L.L. %	
37,5	5,47	94,53	5,47	0,040	7,83	L.P. %	
19,0	32,28	67,72	26,81	0,030	6,45	I.P. %	
4,75	60,95	39,05	28,67	0,020	5,38	Wn %	1,61
2,00	71,92	28,08	10,97	0,012	4,22	I.C:	
0,85	78,70	21,30	6,78	0,007	3,23		
0,425	82,79	17,21	4,09	0,0045	2,46		
0,25	85,75	14,25	2,96	0,0029	1,84		
0,105	88,45	11,55	2,70	0,0020	1,38		
0,075	89,86	10,14	1,41	0,0013	0,92		
< 0.075	100,00	0,00	10,14				

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	1,86E+03	PESO DI VOL. γ nat (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S ₀ =
COEFF. CURVATURA C =	5,32E+01	PESO DI VOL. γ sec (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI e _n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	4,90E-05	PESO DI VOL. γ sat (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

CLASSE GRANULOMETRICA %		DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:		D max	59,8
GHIAIA :	60,95	D ₆₀	13
SABBIA :	28,92	D ₅₀	8
LIMO :	7,49	D ₃₀	2,2
ARGILLA :	2,64	D ₁₀	0,007

Laboratorio
il geologoDENOMINAZIONE : **ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa**

CLASSIFICAZIONE

**ECOGEO s.r.l.**

ANALISI E TECNOLOGIE D'AMBIENTE
Sede: Via F.lli Calvi n° 2 - 24122 Bergamo
Tel. 035 / 27.11.55 - Fax 035 / 23.98.82
P. IVA 03051330169 <http://www.ecogeo.net>

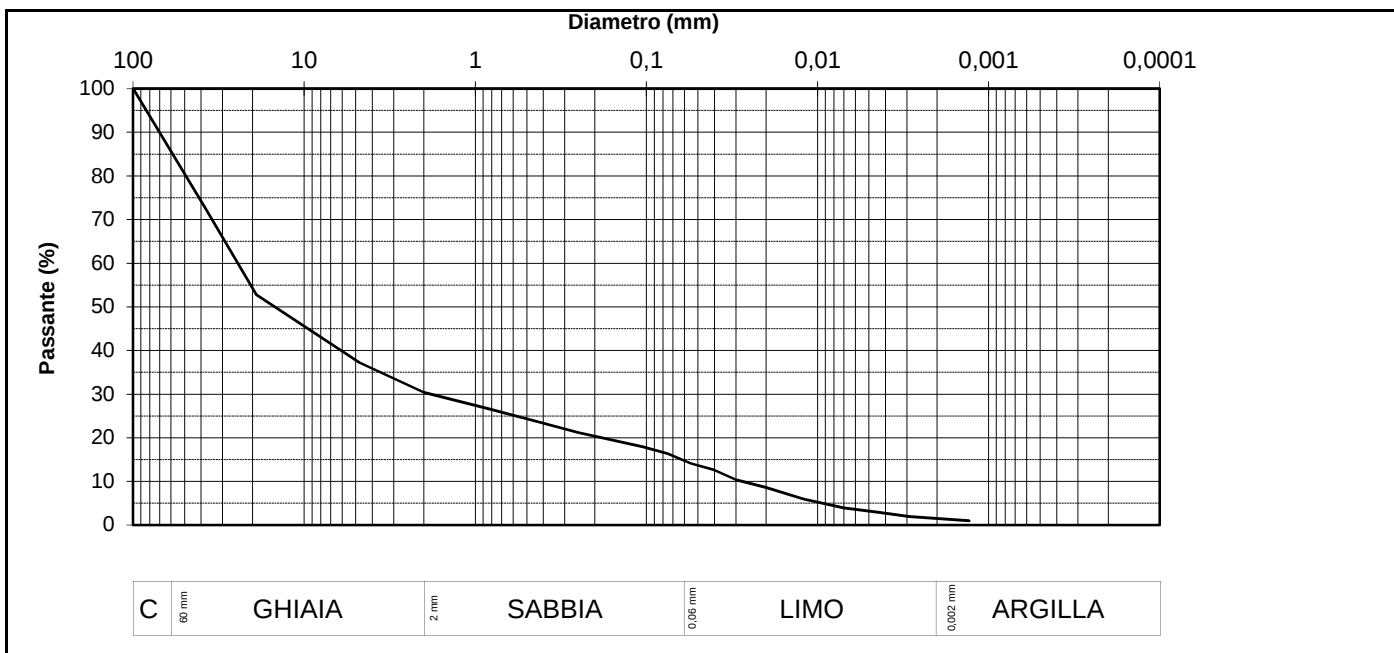
**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =**

Rapporto di prova n° **AL/00100/15**Data di emissione: **12/11/2015****ANALISI GRANULOMETRICA**

A.S.T.M. D 422/90

Rif. REL.PG/12569/15

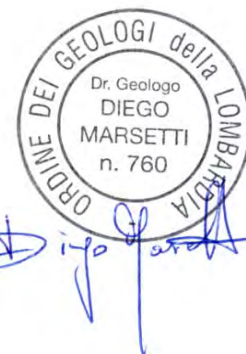
Pag.1 di 1

Committente: **Aruba S.p.A.**Data di campionamento **05/11/2015**Provenienza: **Sondaggio SB - Ponte San Pietro (BG)**Data di ricevimento **05/11/2015**Campione: **C2**Profondità: **6,5 - 7,5 m da p.c.**Prelevato da: **Dott. Geol. Diego Marsetti**Cod. Campione **100**

SETACCIATURA				AEROMETRIA		LIMITI DI ATTERBERG	
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante	ASTM D 4318/95	
75	0,00	100,00	0,00	0,055	14,09	L.L. %	
37,5	27,57	72,43	27,57	0,040	12,60	L.P. %	
19,0	47,25	52,75	19,68	0,030	10,38	I.P. %	
4,75	62,80	37,20	15,55	0,020	8,65	Wn %	6,47
2,00	69,56	30,44	6,76	0,012	5,93	I.C:	
0,85	73,29	26,71	3,73	0,007	3,95		
0,425	76,42	23,58	3,13	0,0045	2,97		
0,25	78,81	21,19	2,39	0,0029	1,98		
0,105	82,03	17,97	3,22	0,0020	1,48		
0,075	83,69	16,31	1,66	0,0013	0,99		
< 0,075	100,00	0,00	16,31				

PARAMETRI			
COEFF. UNIFORMITA' U =	8,89E+02	PESO DI VOL. γ nat (gr/cm ³) =	SATURAZIONE % S_o =
COEFF. CURVATURA C =	5,00E+00	PESO DI VOL. γ sec (gr/cm ³) =	INDICE DEI VUOTI e_n =
COEFF. PERMEAB. (cm/sec) K =	7,29E-04	PESO DI VOL. γ sat (gr/cm ³) =	POROSITA' n =

CLASSE GRANULOMETRICA %		DIAMETRO	mm
CIOTTOLI:		D max	63,7
GHIAIA :	62,80	D ₆₀	24
SABBIA :	20,89	D ₅₀	15
LIMO :	13,10	D ₃₀	1,8
ARGILLA :	3,21	D ₁₀	0,027

Laboratorio
il geologoDENOMINAZIONE : **ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa**

CLASSIFICAZIONE

ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Appendice 1 – Calcolo Qamm secondo Meyerhof



ECOGEO di Marsetti dott. Diego

- RICERCHE GEOLOGICHE
- TRATTAMENTO DELLE ACQUE
- TECNOLOGIE D'AMBIENTE
- PROTEZIONE DALLA CORROSIONE
- INFORMATICA APPLICATA

Dati sulla fondazione			
Angolo d'inclinazione del piano di campagna	β	0°	
Angolo d'inclinazione del piano fondazione	α	0°	
Rapporto componente orizzontale e verticale dei carichi	H/N	0,00	
Coefficiente di sicurezza	Fs	3,00	
Angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale	δ	0°	

Caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione			
Coesione	c	0,00	t/m ²
Angolo di attrito interno	φ	31°	
Peso di volume del terreno sottostante	γ	1,54	t/m ³
Peso di volume del terreno laterale	γ_{sup}	1,54	t/m ³

Comportamento del terreno di tipo rigido plastico

Criterio di rottura di Coulomb - Rottura di tipo generale - $Q_{amm} = Q_{lim} / F_s$

$$Q_{lim} = 0,5 \cdot \gamma \cdot (B - 2e_v) \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + \gamma_{sup} \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

$$N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi =$$

17,6930

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2(45 + \varphi/2) =$$

20,6308

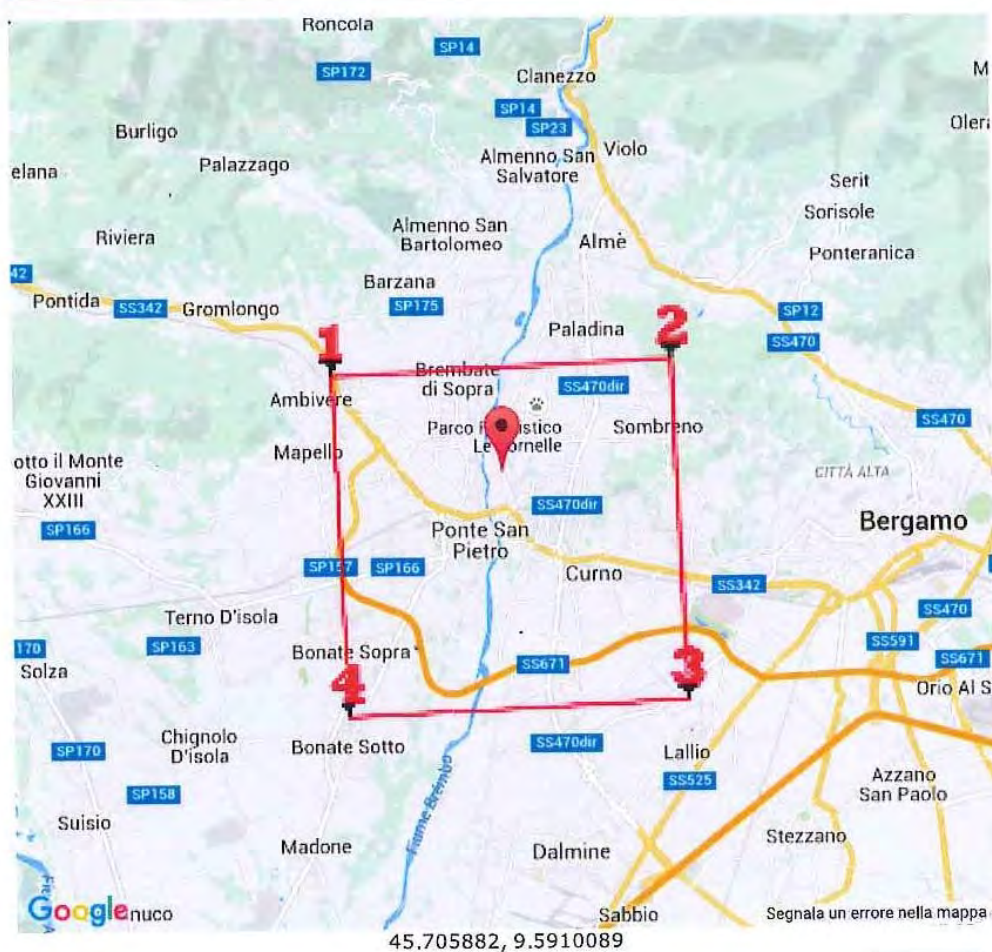
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi =$$

32,6711

Geometria della fondazione				Eccentricità		Fattori di			Fattori di			Fattori di			Fattori di			Fattori di			Capacità portante della fondazione		
Larg.	Lung.	Prof.		Trasv.	Long.	Forma della fondazione			Profondità del p.f.			Inclinazione del carico			Inclinazione del p.f.			Inclinazione del p.c.					
B	L	D	B'	et	el	s_γ	s_q	s_c	d_γ	d_q	d_c	i_γ	i_q	i_c	b_γ	b_q	b_c	g_γ	g_q	g_c	Q_{lim}	Q_{amm}	
m	m	m	m	m	m																t/m ²	t/m ²	kPa
2,00	2,00	1,00	1,33	0,333	0,333	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,1413	1,200	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	64,107	21,37	209,56
4,00	4,00	1,00	2,67	0,667	0,667	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,0707	1,100	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	74,284	24,76	242,83
6,00	6,00	1,00	4,00	1,000	1,000	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,0471	1,067	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	86,56	28,85	282,94
2,00	2,00	2,00	1,33	0,333	0,333	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,2826	1,400	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	127,47	42,49	416,69
4,00	4,00	2,00	2,67	0,667	0,667	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,1413	1,200	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	128,21	42,738	419,12
6,00	6,00	2,00	4,00	1,000	1,000	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,094	1,133	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	137,34	45,781	448,96
2,00	2,00	3,00	1,33	0,333	0,333	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,424	1,600	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	203,41	67,803	664,92
4,00	4,00	3,00	2,67	0,667	0,667	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,212	1,300	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	188,43	62,811	615,97
6,00	6,00	3,00	4,00	1,000	1,000	0,7333	1,4006	1,421	1,000	1,141	1,200	1	1	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	192,32	64,107	628,68

ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Appendice 2 – Stima della pericolosità sismica**

Via	San Clemente	n°	57
Comune	Ponte San Pietro	Cap	24036
Provincia	Bergamo	Cerca	
WGS84 (°)			
Latitudine			
Longitudine			
Cerca			
Isole	– Seleziona –		



Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 45,7068065083435
longitudine: 9,59206333096663
Classe: 2
Vita nominale:50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 11156	Lat: 45,7211	Lon: 9,5563	Distanza: 3197,064
Sito 2	ID: 11157	Lat: 45,7234	Lon: 9,6277	Distanza: 3323,368
Sito 3	ID: 11379	Lat: 45,6734	Lon: 9,6309	Distanza: 4784,429
Sito 4	ID: 11378	Lat: 45,6711	Lon: 9,5596	Distanza: 4700,593

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,027 g
Fo: 2,453
Tc*: 0,194 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,035 g
Fo: 2,491
Tc*: 0,211 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,097 g
Fo: 2,438
Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,129 g
Fo: 2,453
Tc*: 0,280 [s]

Coefficienti Sismici**SLO:**

Ss: 1,200
Cc: 1,530
St: 1,000
Kh: 0,007
Kv: 0,003
Amax: 0,320
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,500
St: 1,000
Kh: 0,008
Kv: 0,004
Amax: 0,416
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,430
St: 1,000
Kh: 0,023
Kv: 0,012
Amax: 1,147
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,000
Kh: 0,037
Kv: 0,019
Amax: 1,514
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 45.705882

longitudine: 9.591009

ARUBA S.p.A.

Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)

Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

**INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)**

Appendice 3 – Verifiche di capacità portante in condizioni limite

CALCOLO PER FONDAZIONE SUPERFICIALE

Sollecitazione verticale e baricentrica

Terreno	Fondazione superficiale: plinto	B	2,00	m
		L	2,00	m
	Profondità piano di posa	D	1,00	m
	Ghiaie con sabbia e ciottoli			
	Peso di volume	γ	15,107	kN/mc
	Angolo d'attrito	ϕ' medio	31,00	°
	Angolo d'attrito caratteristico	ϕ' k	26,52	°
	Coesione	c'	0,00	kN/mq
	Assenza di falda			

1 Verifica delle Tensioni ammissibili $F_s=3$

$$Q_{lim} = (c' \cdot N_c \cdot bc \cdot sc \cdot ic + q \cdot N_q \cdot bq \cdot sq \cdot iq + 0,5 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot A'$$

Fattori di capacità portante

N_c, N_q, N_γ

Fattori di inclinazione della base della fondazione

bc, bq, b_γ

Fattori di forma della fondazione

sc, sq, s_γ

Fattori di inclinazione del carico

ic, iq, i_γ

Capacità portante limite TOTALE	Q_{lim}	2354,4	kN
Area	A'	4,00	m ²
Capacità portante limite UNITARIA	q_{lim}	588,6	kN/m ²
Fattore di Sicurezza	F_s	3,0	
Capacità portante ammissibile TOTALE	Q_{amm}	784,80	kN
Capacità portante ammissibile UNITARIA	q_{amm}	196,20	kN/m ²

CALCOLO PER FONDAZIONE SUPERFICIALE

Sollecitazione verticale e baricentrica

Terreno	Fondazione superficiale: plinto	B	2,00	m
		L	2,00	m
	Profondità piano di posa	D	1,00	m
	Ghiaie con sabbia e ciottoli			
	Peso di volume	γ	15,107	kN/mc
	Angolo d'attrito caratteristico	$\phi'k$	26,52	°
	Coesione	c'	0,00	kN/mq
	Assenza di falda			

2 Verifica STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

$$Ed \leq R'd$$

Rd=resistenza del terreno
Ed=azioni

$$Rd = (c' \cdot N_c \cdot bc \cdot sc \cdot ic + q \cdot N_q \cdot bq \cdot sq \cdot iq + 0,5 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot A'$$

Fattori di capacità portante

N_c, N_q, N_γ

Fattori di inclinazione della base della fondazione

bc, bq, b_γ

Fattori di forma della fondazione

sc, sq, s_γ

Fattori di inclinazione del carico

ic, iq, i_γ

DA1.2 Approccio 1 - Combinazione 2 - A2+M2+R2

Dimensionamento Geotecnico (**GEO**)

Calcolo resistenza di progetto per $\phi'd$

$\phi'd$	21,76	°
Rd	824,04	kN
γ_r	1,8	
$R'd = Rd / \gamma_r$	457,80	kN

ARUBA S.p.A.*Loc. Palazzetto, 4 – 52011 Bibbiena (AR)**Insedimento: area EX LEGLER Via San Clemente, 57 - 24036 Ponte San Pietro (BG)***INDAGINE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA PRESSO INSEDIAMENTO EX LEGLER
IN COMUNE DI PONTE SAN PIETRO (BG)****Appendice 4 – Documentazione fotografica**

Fig. 1: Panoramica area di indagine



Fig. 2 Panoramica area di indagine



Fig. 3: Panoramica area di indagine



Fig. 4: Panoramica area di indagine



Fig. 5: Stratigrafia sondaggio SA da 0.00 a 5.00 m



Fig. 6: Stratigrafia sondaggio SA da 5.00 a 6.00 m



Fig. 7: Stratigrafia sondaggio SB da 0.00 a 5.00 m



Fig. 8: Stratigrafia sondaggio SB da 5.00 a 10.00 m



Fig. 9: Particolare di conglomerato rinvenuto a profondità di ca 3,80 m da p.c. nel sondaggio SA



Fig. 10: Scavo aperto con visione stratigrafia



Fig. 11: Materiale estratto dagli scavi di assaggio con escavatore