

PROPONENTE

Repower Renewable Spa

Via Lavaredo, 44
30174 Mestre (VE)



PROGETTAZIONE



Sinergo Spa - via Ca' Bembo 152 - 30030 - Maerne di
Martellago - Venezia - Italy - tel 041.3642511 - fax
041.640481 - sinergospa.com - info@sinergospa.com

Numero di commessa interno progettazione: 20005

Progettista :
Ing. Filippo Bittante

Geologo :
Geol. Giuseppe Nichilo

N° COMMESSA

1407

**NUOVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO " GHISLARENGO " AREA EX CAVA PMC
PROVINCIA DI VERCELLI
COMUNI DI GHISLARENGO, ARBORIO, GREGGIO E VILLARBOIT**

PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

ELABORATO

RELAZIONE IDROGEOLOGICA - GEOLOGICA - GEOTECNICA

CODICE ELABORATO

01.02

NOME FILE

1407_PD_A_01.02_REL_r00

00	12/10/2020	PRIMA EMISSIONE	G.Nichilo	G.Nichilo	F. Bittante
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVAZIONE

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO	9
4.1. Assetto idrogeologico regionale	9
4.2. Pianura Biellese – Vercellese – Novarese	11
5. VINCOLISTICA	15
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE	16
6.1. Indagini pregresse (ARPA PIEMONTE)	16
6.1.1. Pozzi PRISMAS	17
6.1.2. Campioni	18
6.2. Indagini svolte (2012)	21
6.2.1. Prove penetrometriche dinamiche	21
6.2.2. Normalizzazione dei dati	22
6.2.3. Parametri geotecnici	23
6.3. Modello geologico-geotecnico	41
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	42
7.1. Sismicità storica	42
7.2. Azione sismica	43
7.3. Pericolosità sismica	44
7.4. Stati limite	47
7.5. Categoria del sottosuolo	47
8. LIQUEFAZIONE	48

RELAZIONE IDROGEOLOGICA – GEOLOGICA – GEOTECNICA

1. INTRODUZIONE

L'intervento in oggetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico da 17,035 MW nell'ambito della chiusura finale di Cava Baiardi, cava di inerti sita in località San Grato, nel settore meridionale del territorio comunale di Ghislarengo, in provincia di Vercelli. La superficie catastale complessiva del lotto è di circa 241.680 mq., la cui geometria risulta essere prevalentemente rettangolare. Complessivamente l'impianto fotovoltaico (con percorsi e cabine) occupa una superficie pari a circa mq. 161.000 mentre le opere a verde interessano una superficie pari a mq. 80.680 circa dove sono previsti interventi di mitigazione dell'impatto ambientale, consistenti essenzialmente in opere a verde.

Il progetto prevede la realizzazione di una stazione elettrica e la posa di un cavidotto MT e di un cavidotto AT di connessione alla linea a 220 kv esistente "Turbigo Centrale – Biella est". Le aree per la realizzazione della stazione elettrica avranno superficie di 200 x 150 m, ampliabili fino a 200 x 250 metri. Il tracciato del cavidotto MT di collegamento tra il parco fotovoltaico e la stazione elettrica attraverserà i comuni di Ghislarengo, Arborio, Greggio e Villarboit ed avrà lunghezza di circa 9,9 km.

Il presente documento ha come oggetto la ricostruzione degli aspetti geologici dell'area, partendo da un inquadramento geologico preliminare dell'area, fino ad arrivare all'analisi delle indagini geognostiche incluse nella Banca Dati Geotecnica di ARPA Piemonte e di quelle svolte nel 2012 appositamente per l'intervento in oggetto.

Nelle seguenti figure è riportata l'ubicazione del futuro impianto fotovoltaico ed in seguito è rappresentata parte del territorio provinciale di Vercelli, tra i comuni di Ghislarengo, Arborio, Greggio e Villarboit, interessati dal cavidotto che unirà l'impianto fotovoltaico alla rete di distribuzione.

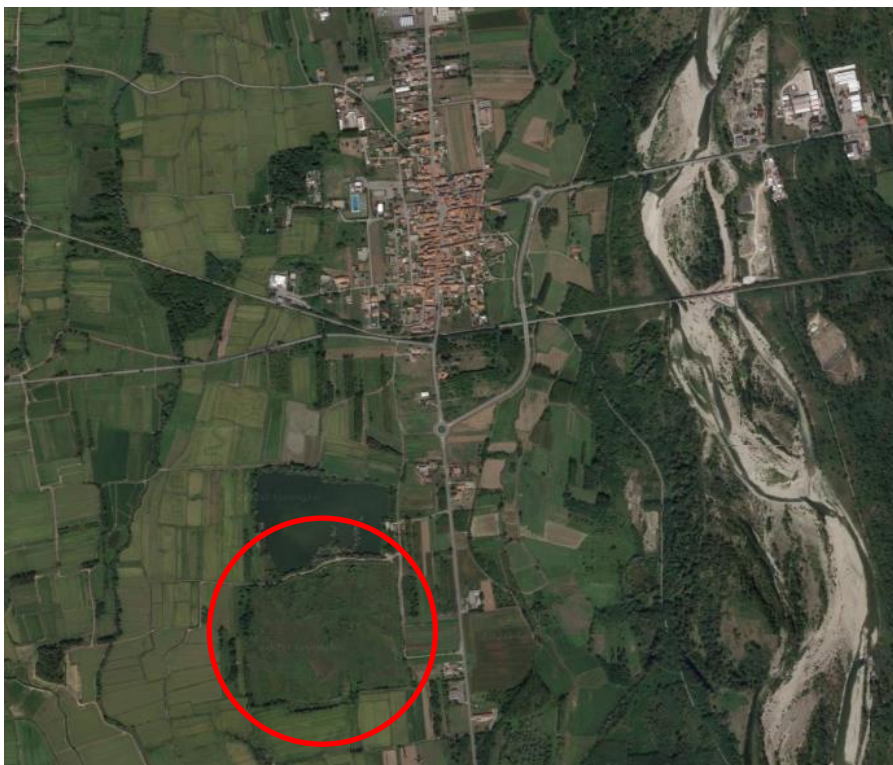


Figura 1 – Inquadramento su ortofoto delle aree occupate dal futuro impianto fotovoltaico (Google Earth)

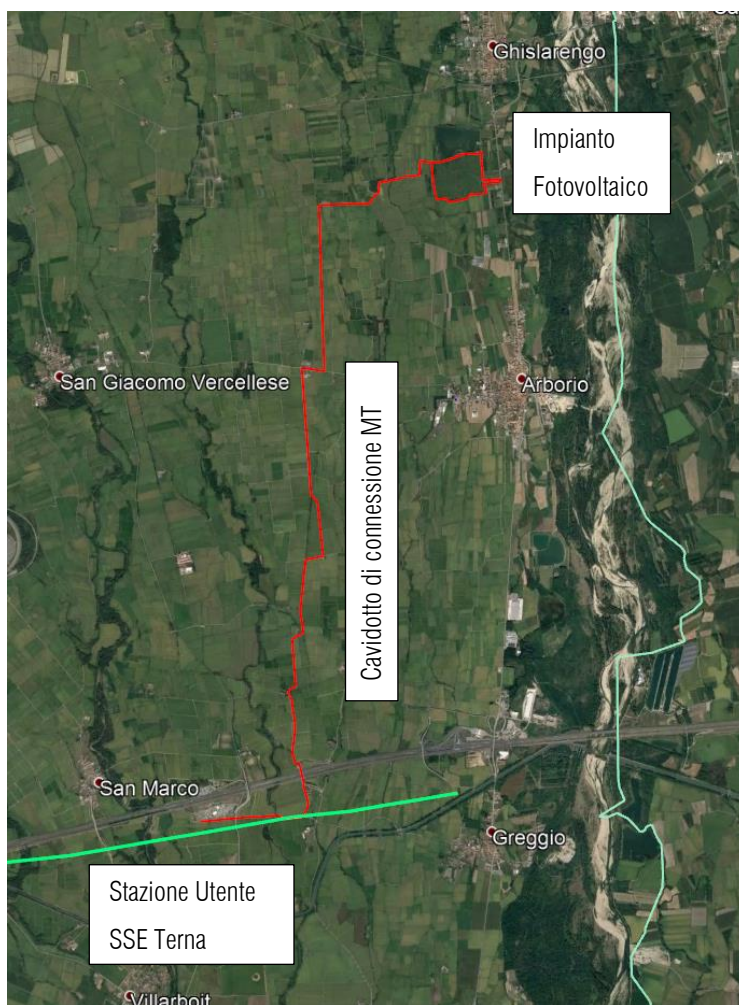


Figura 2 – Inquadramento su ortofoto dell'intero progetto (Google Earth)

Per quanto concerne l'impianto fotovoltaico in senso stretto, lo stesso permetterà una produzione di 17,035 MW. Di seguito si riportano le planimetrie progettuali, rappresentanti il tracciato del cavidotto dall'impianto fotovoltaico alla stazione elettrica, ed il layout specifico della disposizione dei pannelli all'interno dell'area della cava di inerti.



Figura 3 – Dettaglio area Stazione Utente con impianto di accumulo della SSE TERNA

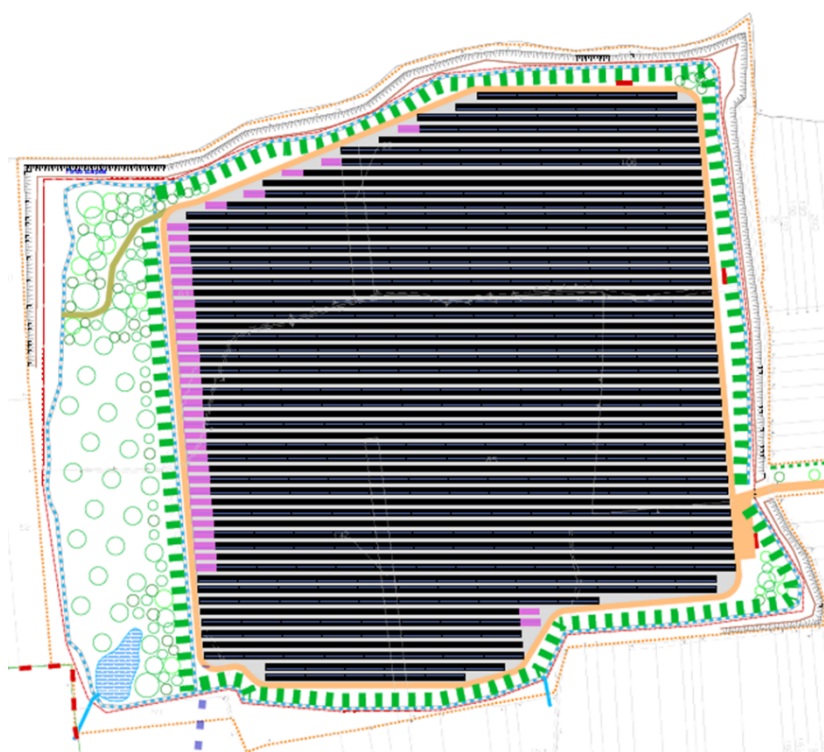


Figura 4 – Layout di progetto impianto FV

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di progetto rientra nel Foglio 43 – Biella della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 del Servizio Geologico d'Italia, risalente all'anno 1967. La geologia compresa nel foglio si mostra molto complessa, con un settore settentrionale, afferente al margine meridionale della catena alpina, ed uno meridionale con l'ampia distesa di depositi quaternari della pianura piemontese. L'area del foglio ricade tra la Zona Sesia-Lanzo e la pianura.

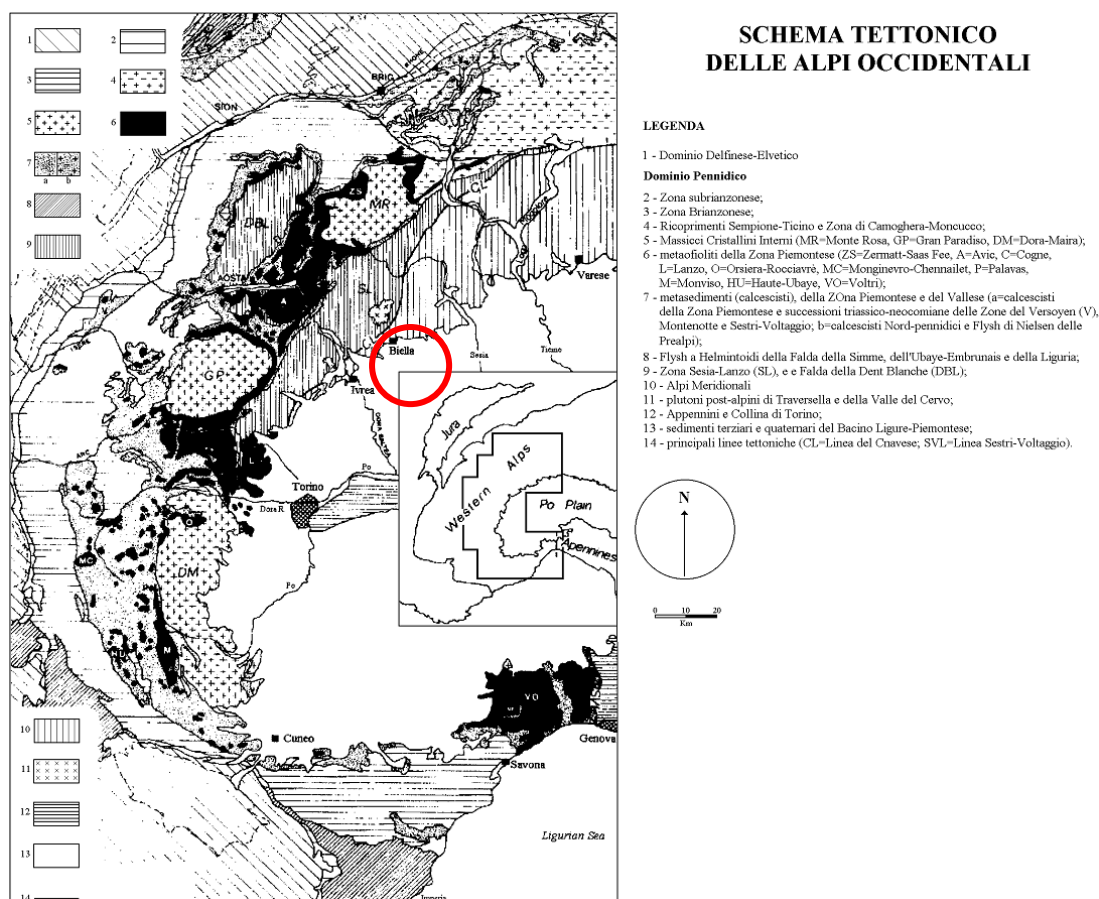


Figura 5 – Schema tettonico della Alpi Occidentali (da Chiesa et al., 1975; Ogniben et al., 1975; Compagnoni & Sandrone, 1979)

L'ossatura strutturale del settore alpino è determinata da due importanti linee di dislocazione: la Linea del Canavese, che separa le Pennidi superiori dalle Alpi Meridionali a SW, e la Linea della Cremona a dislocare il complesso dei terreni sudalpini. Le Pennidi superiori sono rappresentate da una parte dalla Zona Sesia-Lanzo, complesso di scisti cristallini di età precarbonifera che rappresenterebbe la radice comune sia dei ricoprimenti pennidici più elevati che di quelli austroalpini inferiori. In questa serie si è avuta l'intrusione del plutone granito-sienito-monzonitico della Valle del Cervo.

Tutti i termini rocciosi facenti parte del settore meridionale alpino sono attraversati da filoni a composizione e dimensioni variabili, legati ai cicli magmatici che si sono susseguiti nella zona, ercinico ed alpino. Il settore montuoso è fasciato dal complesso sistema dei depositi continentali quaternari, i quali, durante fasi alterne di deposizione e di erosione, raggiungendo uno spessore molto elevato, hanno determinato il colmamento della fossa padana e la costituzione dell'omonima pianura, di cui l'alta pianura piemontese rappresenta la parte più alta e più antica.

Il territorio comunale di Ghislarengo fa parte della Pianura Padana, dove la sovrapposizione di una coltre alluvionale sul substrato marino piegato e fagliato ha causato la formazione di strutture sinformi ed antiformi, fagli e sovrascorrimenti, platee di erosione, con conseguente geografia molto accidentata del substrato. In questo modo, il materasso alluvionale viene ad essere caratterizzato da spessori variabili compresi tra le centinaia di metri nella pianura cuneese ed i pochi metri lungo la fascia che borda i rilievi collinari del torinese.

Dalla Carta Geologica d'Italia si possono individuare tre fasce di depositi alluvionali, risalenti alla glaciazione del Wurm, che nell'area di intervento vengono ad avere orientazione Nord-Sud, parallela al corso del Fiume Sesia:

- Alluvioni fluvioglaciali e fluviali, ciottolose non alterate, terrazzate;
- Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, con debole strato di alterazione, costituenti il livello fondamentale della pianura
- Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, alterate in terreno argilloso per uno spessore massimo di 3 metri

Nella successiva sezione, è riportato lo schema dei rapporti stratigrafici tipici della regione.

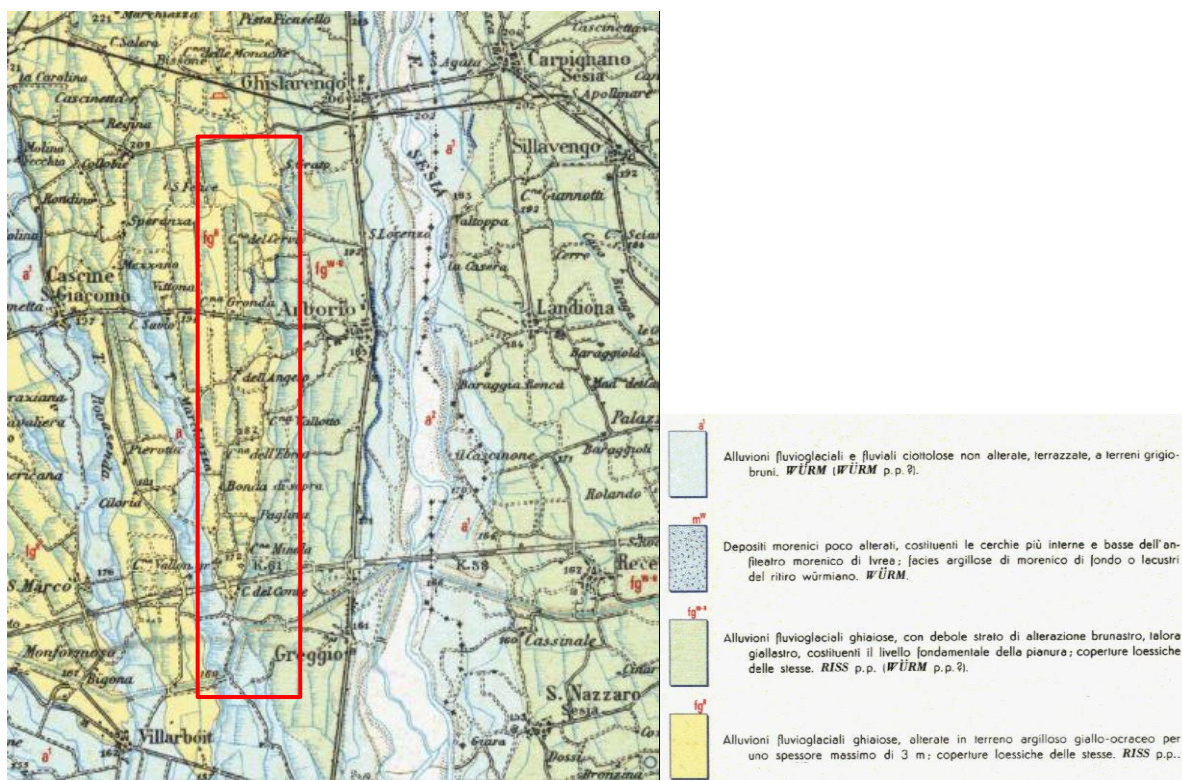


Figura 6 – Stralcio Carta Geologica d'Italia – Foglio 43 Biella (ISPRA)

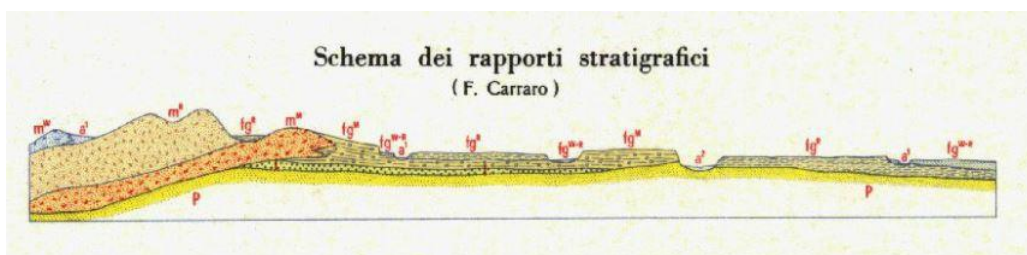


Figura 7 – Schema dei rapporti stratigrafici, Carta Geologica d'Italia – Foglio 43 Biella (ISPRA)

Dal punto di vista tettonico, in tutti i terreni prequaternari del foglio si incontrano tracce di movimenti tettonici. Focalizzando l'attenzione sulle dislocazioni di età alpina, queste sono le più vistose e quelle che hanno contribuito maggiormente all'elaborazione della struttura attuale.

Sono stati riconosciuti tre principali sistemi di dislocazioni dirette, qui descritti dal più antico:

- Sistema ENE-WSW: è rappresentato dalla Linea della Cremosina, faglia che ha causato un abbassamento della zolla meridionale. Ad Ovest, la suddetta linea risulta troncata dalla Linea del Canavese.
- Sistema NNE-SSW o della Linea del Canavese. Tale dislocazione è ben nota in quanto fa parte della grande linea tettonica che attraversa longitudinalmente le Alpi. Questa dislocazione separa il retroterra della geosinclinale alpina (Alpi meridionali e Dinaridi) dai grandi ricoprimenti penninici ed austroalpini. Nel foglio Biella, la linea del Canavese è accompagnata da una larga fascia di miloniti.
- Sistema NNW-SSE: esso comprende un notevole numero di faglie tardive, trasversali agli andamenti tettonici regionali, le quali dislocano sia la Linea della Cremosina che quella del Canavese.

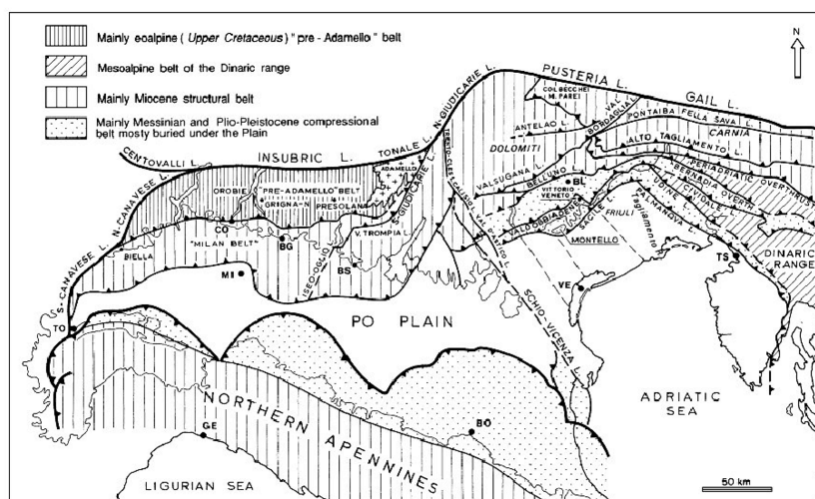


Figura 8 – Schema strutturale della Pianura Padana ed aree adiacenti (modificato da Castellarin et al., 1982)

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Da un punto di vista morfologico, l'area del foglio Biella si può suddividere in tre settori:

- Settore montuoso, costituito dai terreni cristallini (a Nord);
- Settore delle colline moreniche (a Ovest);
- Settore della pianura (Centrale e Sud).

Nel settore montuoso si riconosce una struttura a gradinata, alla genesi della quale hanno contribuito la Linea della Cremosina e la Linea del Canavese. Dalle prime basse colline bordate di sedimenti pliocenici, impostate su vulcaniti, granito e kinzigiti, si passa con un primo gradino, corrispondente alla Linea della Cremosina, ad un settore costituito dai materiali eruttivi basici della zona Ivrea-Verbanese, che ha caratteri altimetrici intermedi, essendo più alto delle colline meridionali ma più basso della collina successiva, quella della Serie Sesia-Lanzo, dalla quale lo separa un ulteriore gradino, coincidente con la Linea del Canavese. Tutto ciò non vale per la zona ad Ovest di Biella,

Del settore morenico, nel Foglio Biella è compresa la parte orientale del grande anfiteatro di Ivrea. I depositi morenici formano una serie di cerchie disposte concentricamente e caratterizzate da un profilo largo e depresso nelle cerchie periferiche e via via più stretto ed elevato in quelle interne. Ugualmente, le vallecicole che inframmezzate tra i vari cordoni costituiscono gli scarichi glaciali, sono difficilmente delimitabili dalle cerchie moreniche esterne, e vanno facendosi più strette e marcate verso l'interno. Tale schiacciatura è da legata all'azione di arginatura esercitata dalle cerchie più esterne e più antiche nei confronti di quelle più interni e recenti.

L'alta pianura è invece costituita da una serie di terrazzi sensibilmente inclinati verso Sud. I più alti, già modificati dall'erosione, sono prevalentemente costituiti da terreni ferrettizzati: la natura impermeabile del ferretto fa sì che qui non si sviluppi vegetazione. Un'alta scarpata separa il terrazzo più alto da uno intermedio, nel quale il substrato impermeabile è costituito da una potente coltre di loess argillificato. I due terrazzi più bassi, invece, presentano caratteri analoghi a quelli della media pianura padana.

4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

4.1. Assetto idrogeologico regionale

Di seguito si riporta schematicamente l'assetto idrogeologico regionale piemontese:

- **Serie dei Depositi Fluviali** (Pliocene – Attuale)
 1. Complesso dei Depositi Grossolani Fluviali, costituito prevalentemente da ghiaie, con sabbie e localmente ciottoli;
 2. Complesso delle Alternanze Fluviali, costituito da alternanze di depositi fini limoso-argillosi e depositi di natura ghiaiosa e sabbiosa, con prevalenza di depositi grossolani;
 3. Complesso dei Depositi Fini Fluviali: costituito prevalentemente da depositi limoso-argillosi.
- **Serie dei Depositi Glaciali** (Pleistocene)
 1. Complesso dei Depositi degli Archi Morenici, comprende depositi estremamente eterogenei, può ospitare falde di importanza locale.
- **Serie dei Depositi di Transizione Villafranchiani** (Pliocene Sup. – Pleistocene inf.)
 1. Complesso delle Alternanze Villafranchiane, costituito da alternanze in banchi di spessore anche decametrico di limi argillosi, sabbie e ghiaie di ambiente lacustre, fluviolacustre e deltizio. Questo sistema si trova nei settori distali rispetto al rilievo alpino, ha spessore variabile ed ospita un complesso sistema acquifero multifalda in pressione, la cui intercomunicazione o separazione è funzione dello spessore e della continuità laterale dei diaframmi limoso-argillosi.
 2. Complesso dei Depositi Fini Villafranchiani, formato da limi argillosi prevalenti, con locali intercalazioni sabbiose e ghiaiose di modesto spessore, presente anch'esso nei settori distali rispetto ai rilievi alpini in eteropia di facies con il Complesso delle Alternanze.
- **Serie dei Depositi Marini Pliocenici** (Pliocene inf. – Pliocene med.)
 1. Complesso dei Depositi Sabbiosi Marini (facies "Astiano"): ha spessore anche superiore al centinaio di metri, ospita falde in pressione di importanza regionale.

2. Complesso dei Depositi Argilloso-Siltoso-Sabbiosi Marini (facies “Piacenziano”): si sviluppa al di sotto del precedente complesso, presenta scarsa circolazione idrica a causa della presenza di materiali fini.

La particolare morfologia regionale, con la presenza di alti strutturali sepolti, ha creato le condizioni affinché si creassero diversi bacini sedimentari tra loro separati. Di conseguenza, la pianura piemontese risulta suddivisa in quattro zone acquifere omogenee: la Pianura Cuneese – Torinese meridionale, la Pianura Torinese settentrionale, la Pianura Biellese – Vercellese – Novarese e la Pianura Alessandrina. Le prime due sono separate da una strozzatura in corrispondenza della traversa “Piossasco – Moncalieri”, ricollegabile al prolungamento nel sottosuolo della collina di Torino. La terza è delimitata verso W ed E da due alti strutturali sepolti situati rispettivamente a cavallo del corso della Dora Baltea l'uno, e poco ad E della sponda sinistra orografica del Ticino l'altro. Infine il Bacino Alessandrino è separato idrogeologicamente dal resto della pianura (Pianura Tortonese) dalla dorsale sepolta “Tortona – Montecastello”.

Di seguito si riporta stralcio della Carta delle serie idrogeologiche del Piemonte (Arpa Piemonte). Inoltre, si riportano le sezioni idrogeologiche 5, 6 e 7, adiacenti all'area in esame.

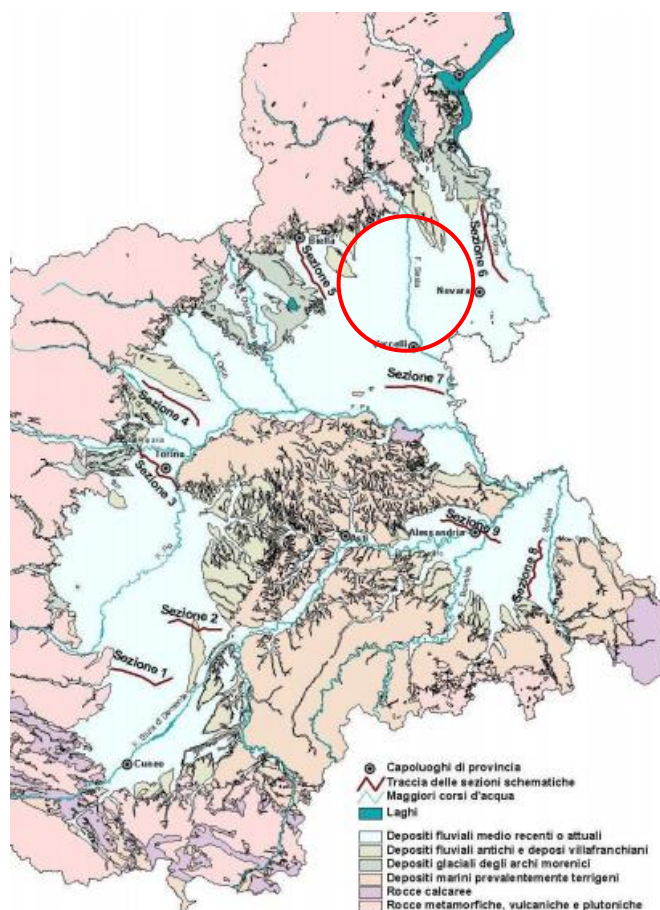


Figura 9 – Carta delle Serie Idrogeologiche del Piemonte (ARPA Piemonte)

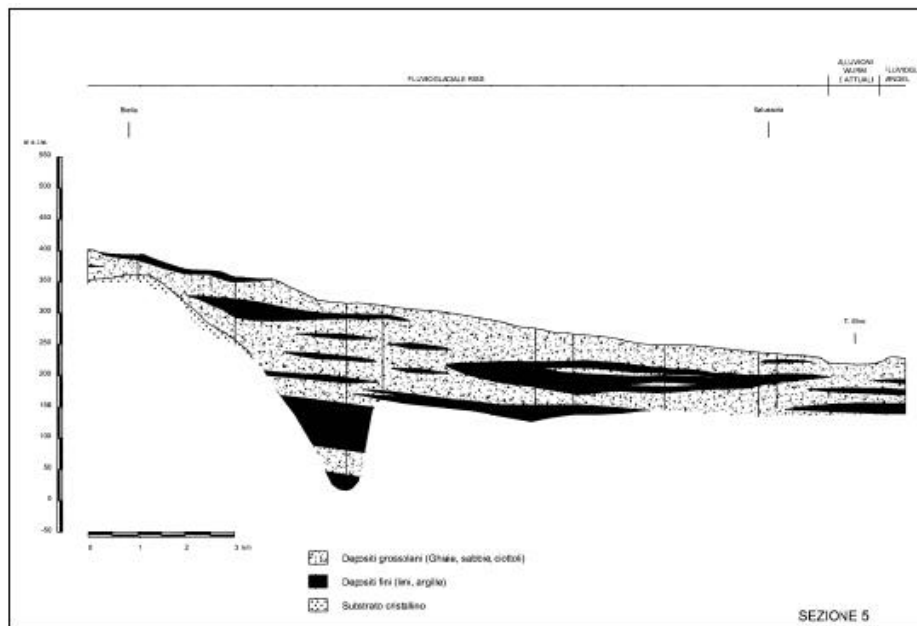


Figura 10 – Carta delle Serie Idrogeologiche del Piemonte – Sezione schematica 5 (ARPA Piemonte)

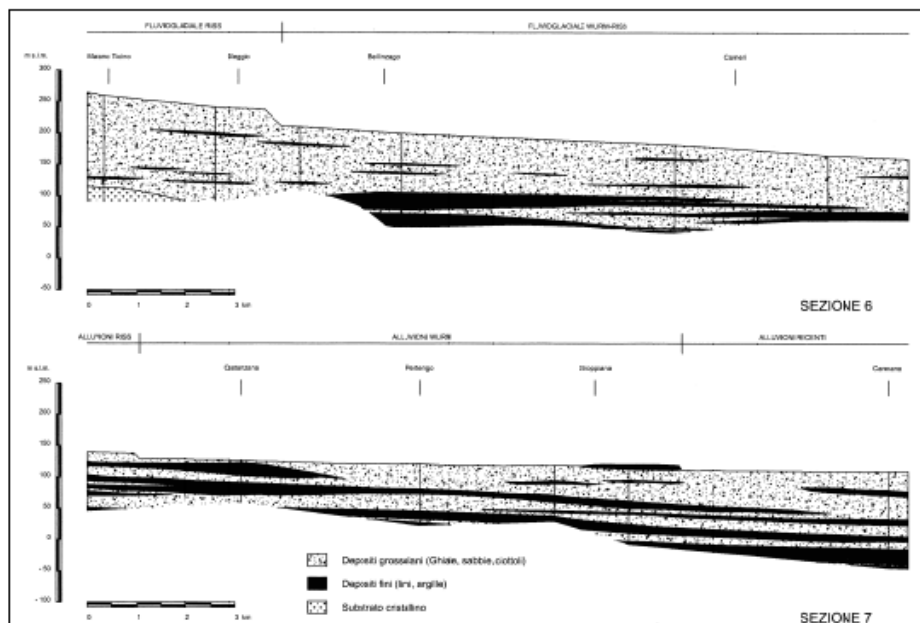


Figura 11 – Carta delle Serie Idrogeologiche del Piemonte – Sezioni schematiche 6 e 7 (ARPA Piemonte)

4.2. Pianura Biellese – Vercellese – Novarese

La pianura Biellese-Vercellese-Novarese presenta le quote massime presso l'abitato di Biella, mentre quelle minime al margine sud-orientale del settore, in corrispondenza dell'alveo del Po, passando da 450 a 90 metri sul livello del mare. I maggiori corsi d'acqua presenti sono il Po ed i suoi affluenti, quali il la Dora Baltea, il Sesia ed il Ticino.

La sequenza litostratigrafica tipica presenta nella parte alta la Serie dei Depositi Fluviali, di età pleistocenica-olocenica, aventi spessore variabile da circa 70-80 m nel settore orientale dell'area (cfr. Sezioni 6 e 7) e progressivamente minore al margine con i rilievi alpini ove si riducono a pochi metri di spessore (cfr. Sezione 5).

La Serie dei Depositi Fluviali è costituita da: ghiaie prevalenti con sabbia e, localmente, ciottoli del Complesso dei Depositi Grossolani Fluviali; depositi ghiaiosi e sabbiosi prevalenti moderatamente alterati, con locali presenze di lenti limoso argillose; materiali a granulometria decrescente procedendo verso valle (Complesso delle Alternanze Fluviali). Tali depositi affioranti in vaste aree del settore settentrionale e occidentale dell'area sono raccordati alle alluvioni più recenti mediante scarpate di modesta altezza; inferiormente sono presenti depositi ghiaiosi e limoso-argillosi fortemente alterati (Complesso dei Depositi Fini Fluviali), affioranti nel settore settentrionale dell'area; questi depositi risultano terrazzati e raccordati alle sovrastanti alluvioni più recenti da scarpate di altezza variabile generalmente non inferiori ai 20 m.

Inferiormente è presente la Serie dei Depositi di Transizione Villafranchiani, avente uno spessore massimo mal valutabile e comunque verosimilmente non inferiore ai 200 m nei settori centrali dell'area e progressivamente minori nei settori settentrionali dove è presente in affioramento. Nell'area la serie villafranchiana è costituita da depositi di ambiente lacustre o di laguna costiera, caratterizzati dalla ripetuta comparsa di argille blu e grigie, con intercalazioni sabbiose in forma lenticolare, talvolta rilevanti ma discontinue, localmente associate a livelli di ghiaietto (Complesso delle Alternanze Villafranchiane). E' ricorrente la presenza di torba o lignite associata alle argille e, subordinatamente alle sabbie.

Inferiormente alla serie dei Depositi di Transizione Villafranchiani sono presenti i sedimenti della Serie dei Depositi Marini Pliocenici, costituiti da sabbie da fini a finissime giallastro-rossicce, talora con lenti o strati ghiaiosi o ciottolosi, e da sabbie grigio-giallastre o grigiastre il cui spessore valutabile è di circa 100 m sulla destra del T. Cervo alla base dell'altipiano di Candelo - Castellengo - Mottalciata (Complesso dei Depositi Sabbiosi Marini in facies di "Astiano"). Inferiormente sono presenti i sedimenti del Complesso dei Depositi Argilloso-Siltoso-Sabbiosi Marini in facies di "Piacenziano", costituiti da orizzonti argillosi di colore grigio, potenti qualche decina di metri, alternati a sabbie di colore grigio a granulometria fine, generalmente fossiliferi.

La Falda Superficiale è ospitata nei depositi grossolani, prevalentemente ghiaie, ciottoli e subordinatamente sabbie a granulometria variabile, caratterizzati da un coefficiente di permeabilità buona (Complesso dei Depositi Fluviali). Localmente sono presenti depositi argilloso-limosi, sotto forma di lenti discontinue o associate a ghiaie e sabbie che danno origine ad un deposito fortemente eterogeneo (Complesso delle Alternanze Fluviali).

La produttività dell'acquifero contenente la Falda Superficiale è molto variabile: scarsa nei settori settentrionali dell'area, in corrispondenza dei depositi degli alti terrazzi, costituiti da alluvioni più antiche e quindi più alterate, e progressivamente maggiore, nei settori centrali e meridionali dove sono presenti alluvioni più recenti e quindi meno alterate. Lo spessore dei depositi alluvionali risulta variabile da poche decine di metri fino a 80 m nel centro di Novara. Gli spessori minori si trovano lungo la fascia del T. Sesia a partire dai centri di Arborio e Landiona; a valle del T. Cervo, a partire da Buronzo e nel settore meridionale della pianura Vercellese; le potenze massime si raggiungono invece a nord di Novara, tra il F. Sesia (a N di Carpignano Sesia) e il F. Ticino. Nella zona di pianura centro meridionale, l'acquifero superficiale è associabile ai depositi alluvionali recenti Würmiani e a quelli antecedenti del Mindel-Riss.

La soggiacenza presenta i valori maggiori, anche superiori ai 50 m, in corrispondenza degli alti terrazzi presenti nel settore settentrionale dell'area e generalmente inferiori ai 10 m nei settori centrali e meridionali dell'area. La Falda Superficiale mostra una direzione di flusso complessiva NW-SE e risulta fortemente condizionata dall'azione drenante svolta dal F. Ticino al margine E dell'area, dal T. Cervo nel settore centro settentrionale e dal F. Po nel settore meridionale dell'area. Questa presenta i gradienti idraulici più elevati nelle aree poste a ridosso dei rilievi alpini in corrispondenza degli alti terrazzi (0.012) e progressivamente minori nelle aree meridionali dell'area (0.0015).

La base dell’acquifero contenente la Falda Superficiale è in genere ben delineabile a causa delle diverse tessiture dei depositi che caratterizzano l’acquifero superficiale e quello profondo. Le Falde Profonde sono contenute entro livelli permeabili (prevalentemente sabbiosi) del Complesso delle Alternanze Villafranchiane appartenente alla Serie dei Depositi di Transizione Villafranchiani, nei depositi del Complesso dei Depositi Sabbiosi Marini in facies di “Astiano” e nel sottostante Complesso dei Depositi Argilloso-siltoso-sabbiosi in facies di “Piacenziano”. Nel settore meridionale dell’area, il confinamento delle Falde Profonde è dovuto verticalmente a strati impermeabili del Complesso Villafranchiano e, lateralmente, ai sovrascorrimenti sepolti del margine appenninico, arcuati con direzione E-W, che trancano la continuità degli orizzonti permeabili, portandoli a contatto con la successione del Complesso dei Depositi Argilloso-siltoso-sabbiosi in facies di “Piacenziano”. Nella parte settentrionale dell’area, a ridosso dei rilievi pre-alpini, i depositi villafranchiani (Complesso delle Alternanze Villafranchiane) passano lateralmente a depositi ghiaiosi alterati, alternati localmente a lenti di sabbie argillose.

Nell’area di progetto, compresa tra i territori comunali di Ghislarengo per l’impianto fotovoltaico in senso stretto, e quelli di Arborio, Greggio e Villarboit per l’estensione del cavidotto di connessione tra il parco fotovoltaico e la stazione elettrica, la soggiacenza della falda superficiale risulta sempre inclusa nei primi dieci metri di profondità (colori rosso e rosa nella relativa cartografia di Arpa Piemonte). Come anticipato, il deflusso procede in direzione NW-SE e le curve piezometriche indicano quote comprese tra 205 metri a nord dell’abitato di Ghislarengo, e 160 metri sul livello del mare nei pressi dell’abitato di Greggio. Le escursioni medie stagionali, con innalzamento della falda a cui si contrappongono periodi di depressione, risultano da bibliografia comprese in circa 1 m.

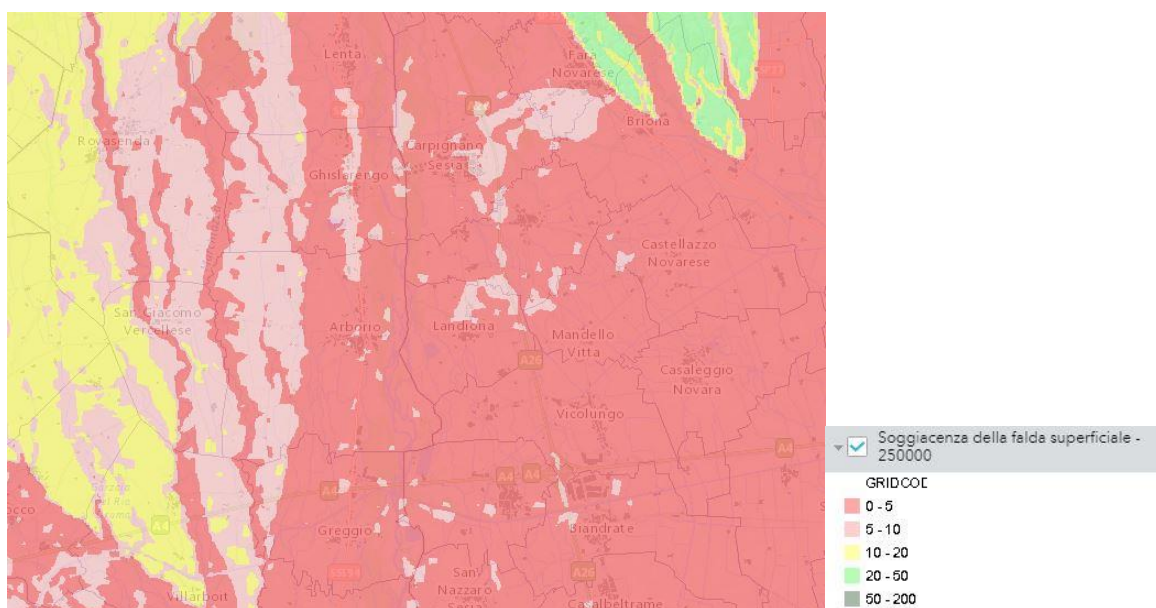


Figura 12 – Soggiacenza falda superficiale (ARPA Piemonte)

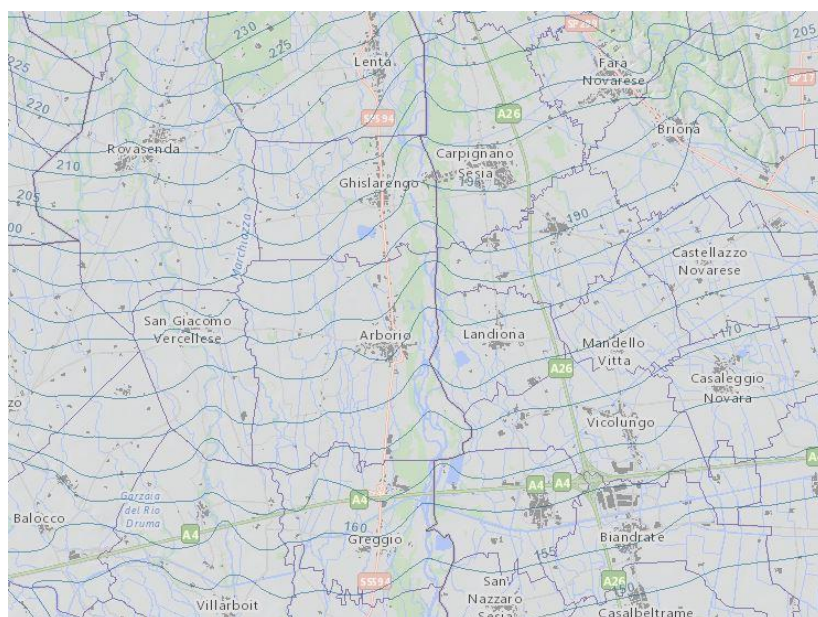


Figura 13 – Curve piezometriche (ARPA Piemonte)

Per quanto concerne le permeabilità dei terreni, l'area in esame è interessata da valori di permeabilità k compresi tra 10^{-3} e 10^{-5} m/sec.

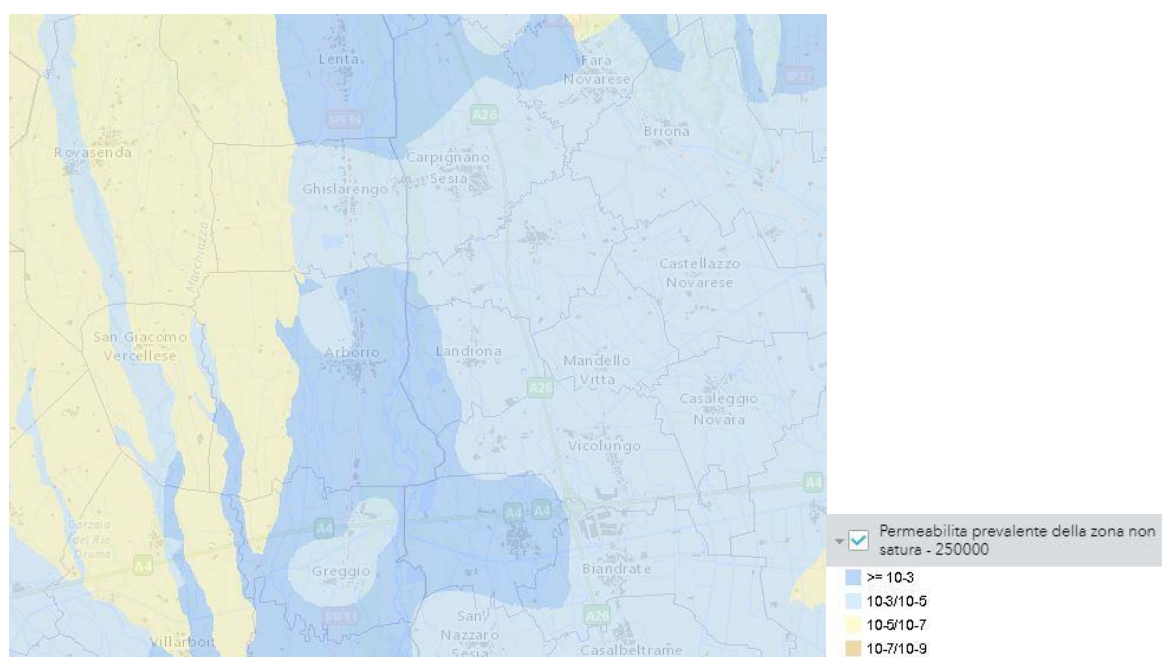


Figura 14 – Permeabilità terreni (ARPA Piemonte)

5. VINCOLISTICA

L'analisi dettagliata degli aspetti vincolistici legati alle aree interessate dall'opera è rimandata alla pertinente relazione "Analisi vincolistica". Per completezza di informazione, di seguito si riporta l'elenco degli strumenti urbanistici e normativi atti a definire l'assetto vincolistico dell'area in esame.

- Regime Vincolistico
 - Aree protette (L. 394/1991), Rete Natura 2000, I.B.A.;
 - Vincoli ai sensi del D. Lgs. 42/04 e ss.mm.ii.;
 - Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/1923);

- Pianificazione e programmazione urbanistica e territoriale
 - Piano Territoriale Regionale della Regione Piemonte (PTR);
 - Piano Paesaggistico Regionale (PPR);
 - Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico;
 - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Vercelli (PTCP);
 - Piano Regolatore Generale del Comune di Arborio (PRG);
 - Piano Regolatore Generale del Comune di Greggio (PRG);
 - Piano Regolatore Generale del Comune di Villarboit (PRG).

• **Campioni:**

- **Gruppo 1:** n.6 campioni prelevati nei pressi dell'autostrada A4, in corrispondenza del confine comunale Greggio – Villarboit, lungo il corso d'acqua Marchiazza;
- **Gruppo 2:** n.3 campioni prelevati nei pressi dell'autostrada A4, nel territorio comunale di Greggio, lungo il corso d'acqua Roggia Oreale;
- **Gruppo 3:** n.3 campioni prelevati nei pressi dell'autostrada A4, nel territorio comunale di Greggio, lungo il Canale Dondoglio;
- **Gruppo 4:** n.3 campioni prelevati nei pressi dell'autostrada A4, nel territorio comunale di Greggio, lungo il fiume Sesia.

6.1.1. Pozzi PRISMAS

Pozzo PII20 – Comune di Ghislarengo

Pozzo PII20	Cimitero comunale Ghislarengo (VC)
Anno perforazione	2002
Quota p.c.	207 m.s.l.m.
Profondità perforazione	15,00 m
Livello falda	4,00 m
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica

Profondità [m]		Litologia
0,00	0,05	Asfalto
0,05	0,30	Ghiaietto eterometrico in debole matrice sabbiosa
0,30	1,50	Sabbia limosa a legante argilloso inglobante ghiaietto
1,50	4,00	Ghiaia eterometrica e ciottoli in matrice sabbiosa
4,00	9,50	Ghiaia eterometrica e ciottoli in matrice sabbiosa da debolmente limosa a limosa
9,50	12,70	Limo argilloso debolmente sabbioso
12,70	14,00	Limo sabbioso a legante argilloso
14,00	15,00	Sabbia limosa con ghiaia medio fine

Figura 16 – Stratigrafia semplificata pozzo PII20 - Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)

Pozzo 107.188,00 – Comune di Ghislarengo

Pozzo 107.188,00	Via Kennedy Ghislarengo (VC)
Anno perforazione	1990
Quota p.c.	206 m.s.l.m.
Profondità perforazione	90,00 m
Livello falda	4,80 m
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica

Profondità [m]		Litologia
0,00	9,00	Ghiaia e sabbia
9,00	19,00	Argilla
19,00	25,00	Ghiaia con argilla
25,00	30,00	Sabbia argillosa
30,00	35,00	Argilla con lignite
35,00	39,00	Sabbia fine
39,00	65,00	Argilla
65,00	82,00	Ghiaia e sabbia
82,00	90,00	Sabbia argillosa

Figura 17 – Stratigrafia semplificata pozzo 107.188,00 - Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)

Pozzo 107.120,00 – Comune di Arborio

Pozzo 107.120,00	Strada Regione Gabbiaccio, Arborio (VC)
Anno perforazione	1986
Quota p.c.	189 m.s.l.m.
Profondità perforazione	108,00 m
Livello falda	0,00 m
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica

Profondità [m]		Litologia
0,00	1,00	Terra argillosa
1,00	12,00	Ghiaia e sabbia
12,00	16,00	Argilla
16,00	19,00	Sabbia
19,00	23,00	Argilla
23,00	26,00	Sabbia
26,00	30,00	Argilla
30,00	36,50	Sabbia
36,50	39,00	Argilla
39,00	44,00	Sabbia
44,00	63,00	Argilla
63,00	67,00	Sabbia e ghiaietto
67,00	69,00	Argilla
69,00	73,00	Sabbia argillosa
73,00	90,00	Argilla
90,00	105,50	Sabbia
105,50	108,00	Argilla

Figura 18 – Stratigrafia semplificata pozzo 107.120,00 - Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)

Dalle stratigrafie semplificate sopra esposte, si evince che fino ad oltre 100 metri di profondità dal piano campagna nell'ambito di depositi fluvioglaciali ghiaiosi si ha una continua alternanza tra strati sabbiosi e strati argillosi. I pozzi più settentrionali, eseguiti nei dintorni dell'abitato di Ghislarengo, mostrano una minore presenza di strati a granulometria fine, lasciando spazio a prevalenti sabbie ed alla presenza di strati ghiaiosi.

6.1.2. Campioni

Di seguito si riportano tabelle riassuntive circa le caratteristiche dei campioni prelevati presenti sulla Banca Dati Geotecnica di ARPA Piemonte, suddivisi per gruppi a seconda dell'area geografica in cui sono stati prelevati.

Gruppo 1 - Area Torrente Marchiazza

Campione: C66-alv	Torrente Marchiazza - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	13,85
Ghiaia [%]	66,35
Sabbia [%]	19,00
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	0,00
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C69-spo	Torrente Marchiazza - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	17,27
Ghiaia [%]	54,03
Sabbia [%]	23,40
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	5,30
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C67-spo	Torrente Marchiazza - Greggio (VC)
Anno	-
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	14,70
Ghiaia [%]	56,30
Sabbia [%]	23,00
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	6,00
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C68-spo	Torrente Marchiazza - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	13,24
Ghiaia [%]	48,76
Sabbia [%]	25,40
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	12,60
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C65-alv	Torrente Marchiazza - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	17,24
Ghiaia [%]	66,36
Sabbia [%]	15,80
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	0,60
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C64-alv	Torrente Marchiazza - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	16,06
Ghiaia [%]	63,24
Sabbia [%]	20,00
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	0,70
Contenuto d'acqua [%]	-

Gruppo 2 - Area Rio Orcale

Campione: C72-spo	Rio Orcale - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	8,15
Ghiaia [%]	52,85
Sabbia [%]	32,80
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	6,20
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C71-alv	Rio Orcale - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	17,72
Ghiaia [%]	57,68
Sabbia [%]	22,60
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	2,00
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C70-alv	Rio Orcale - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	20,71
Ghiaia [%]	57,99
Sabbia [%]	18,80
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	2,50
Contenuto d'acqua [%]	-

Gruppo 3 - Area Rio Dondoglio

Campione: C74-alv	Rio Dondoglio - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	13,41
Ghiaia [%]	49,19
Sabbia [%]	34,40
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	3,00
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C75-spo	Rio Dondoglio - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi fluvioglaciali ghiaiosi, con debole strato di alterazione; copertura loessica
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	9,27
Ghiaia [%]	49,83
Sabbia [%]	29,30
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	11,60
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C73-alv	Rio Dondoglio - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	12,98
Ghiaia [%]	57,02
Sabbia [%]	26,20
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	3,80
Contenuto d'acqua [%]	-

Gruppo 4 - Fiume Sesia

Campione: C76-alv	Fiume Sesia - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	21,29
Ghiaia [%]	58,41
Sabbia [%]	20,00
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	0,30
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C77-alv	Fiume Sesia - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	17,68
Ghiaia [%]	57,62
Sabbia [%]	24,20
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	0,50
Contenuto d'acqua [%]	-

Campione: C78-alv	Fiume Sesia - Greggio (VC)
Anno	1998
Formazione geologica	Depositi alluvionali ghiaiosi recenti ed attuali
Grado di disturbo	Disturbato
Profondità prelievo	0,00 m

Analisi granulometrica	
Ciottoli [%]	15,13
Ghiaia [%]	54,97
Sabbia [%]	28,60
Limo [%]	0,00
Argilla [%]	0,00
Passante 200 [%]	1,30
Contenuto d'acqua [%]	-

Analizzando i dati disponibili per i campioni di terreno analizzati, risulta evidente che tutti i campioni mostrino una percentuale di ghiaie e ciottoli predominanti rispetto alle sabbie. I materiali fini risultano invece essere presenti in percentuali minime, se non assenti.

6.2. Indagini svolte (2012)

Nell'anno 2012 lo Studio Geologico Rivolta e Grassi ha svolto una campagna geognostica in merito alla variante al progetto di chiusura finale della cava di inerti in località San Grato. Si sono realizzate n.8 prove penetrometriche dinamiche, effettuate nelle aree accessibili, come riportato nella seguente planimetria.

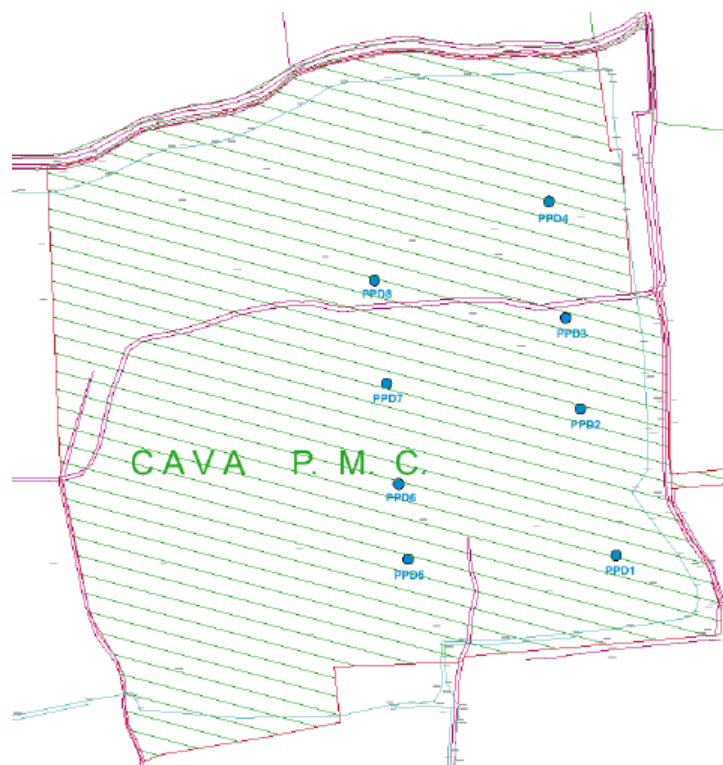


Figura 19 – Ubicazione indagini geognostiche 2012

6.2.1. Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche dinamiche SPT sono state eseguite secondo standard ASTM a diverse profondità. Con questo tipo di prova in situ si ha l'obiettivo di determinare la resistenza che il terreno oppone alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso nel terreno a partire dal fondo del foro di sondaggio. La resistenza è funzione delle caratteristiche geomeccaniche e litologiche del terreno.

Per la prova si è utilizzato un penetrometro TG 63/100, ed è consistita nel far cadere un maglio di 63,5 kg da un'altezza di 750 mm, su una testa di battuta fissa alla sommità di una batteria di aste, alla cui estremità è avvitato il campionatore di dimensioni standardizzate (diametro punta da 51 mm, angolo punta di 60°, area della base della punta conica di 20.43 cm²). Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione del campionatore pari a 300 mm (dopo l'eventuale penetrazione quasi-statica per gravità e dopo 150 mm di infissione dinamica per il posizionamento) è il dato assunto come indice di resistenza alla penetrazione (Nspt). Prima dell'esecuzione di ogni singola prova, dal fondo del foro di sondaggio vengono eliminati eventuali sedimenti che potrebbero inficiare l'esito della prova.

Per calcolare il valore di resistenza r_d , si usa la seguente formula:

$$r_d = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

dove M è la massa del maglio, g è l'accelerazione gravitazionale, H l'altezza di caduta, A è l'area della sezione trasversale della base della punta conica ed e è la penetrazione media per colpo.

6.2.2. Normalizzazione dei dati

Come anticipato, per l'esecuzione delle prove SPT si sono seguite le prescrizioni vigenti secondo normativa, di conseguenza per l'interpretazione delle stesse è possibile sfruttare la letteratura disponibile.

Normalizzazione rispetto alla pressione del terreno

La resistenza alla penetrazione aumenta in modo lineare con la profondità, dunque, ammettendo che la densità relativa sia costante, all'aumentare della tensione verticale efficace si deve operare una correzione, riportando i valori di N relativi al numero dei colpi, ad una pressione verticale efficace di 1 kg/cm²:

$$N_1 = C_N \cdot N$$

con N numero di colpi misurati, N_1 rispettivo valore riferito ad una tensione verticale efficace, $C_N = 1/\sigma'_{v0}{}^{(n)}$, dove n è pari a 0.5 (Liao e Whitman, 1985).

Si può utilizzare anche la relazione di Skempton (1986), la quale enfatizza meno i valori di C_N per bassi valori di pressione efficace:

$$C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_{v0}/100} \quad \text{per sabbie fini;}$$

$$C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_{v0}/100} \quad \text{per sabbie grossolane;}$$

Normalizzazione rispetto al dispositivo di battitura

Normalmente il rendimento dei dispositivi utilizzati per le prove SPT è pari al 60% dell'energia cinetica nominale (473.4 Joule) della massa di un maglio di 63.5 kg che cade da un'altezza di 760 mm. Nel caso delle prove penetrometriche in oggetto, il rendimento raggiunge valori pari all'80% e quindi si rende indispensabile effettuare una correzione secondo la relazione:

$$N_{60} = \frac{ER_{im}}{60} \cdot N$$

dove N_{60} è il numero di colpi corretto per riferirlo ad un rendimento del 60%, ed ER_{im} è il rendimento espresso in percentuale.

Normalizzazione rispetto alla lunghezza delle aste

Una possibile causa di dispersione dell'energia può essere legata alla lunghezza delle aste: se questa è superiore ai 10 metri, non si deve applicare alcuna correzione, mentre se la lunghezza è inferiore ai 10 metri, per la sabbia si possono applicare le seguenti correzioni:

Lunghezza aste	>10	6 – 10	4 - 6	3 – 4
Fattore di correzione λ	1.0	0.95	0.85	0.75

6.2.3. Parametri geotecnici

Densità relativa (DR)

Ottenuto il valore normalizzato di NSPT è possibile ricavare il valore della densità relativa servendosi della correlazione proposta da Terzaghi e Peck (1948) e da Skempton (1986):

$$(N_1)_{60}/D_r^2 = 60 \quad \text{per } D_r > 35\%$$

Angolo di attrito efficace (ϕ')

Utilizzando il grafico proposto da De Mello (1971), è possibile definire l'angolo di attrito efficace ϕ' in relazione al valore di NSPT ed allo sforzo verticale efficace. Tale relazione è valida per sabbie moderatamente compressibili, quarzose, non cementate. Si noti, comunque, che per valori di pressione efficace inferiori a 10 kPa, l'angolo di attrito risulta sopravvalutato, così come per $\phi' > 38^\circ$.

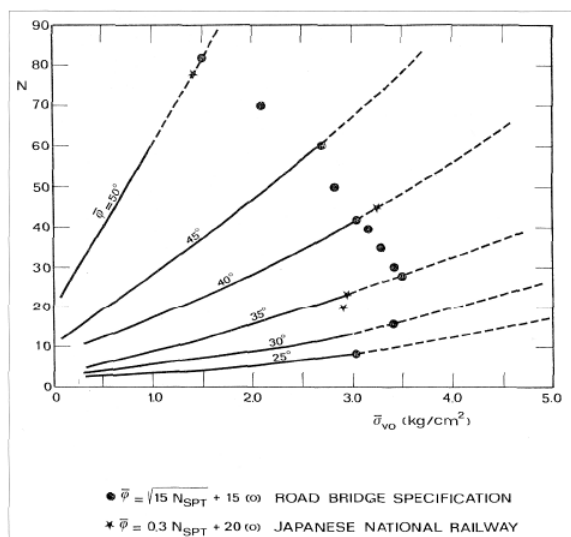


Figura 20 – Correlazione di De Mello (1971)

Di seguito si propone un'ulteriore correlazione (Mitchell 1978) che mette in relazione il valore di N con l'angolo di resistenza al taglio, tenendo conto delle tensioni verticali efficaci.

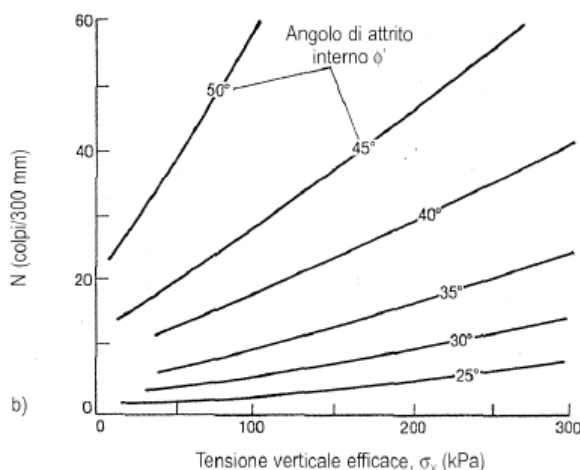


Figura 21 – Correlazione di Mitchell (1978)

Nel determinare l'angolo di resistenza al taglio, è importante tenere in considerazione i caratteri di deformabilità dei terreni a grana grossa. La resistenza al taglio dei terreni grossolani dipende dall'angolo a volume costante Φ'_{cv} , che è l'angolo di attrito con densità relativa praticamente nulla, dalla componente dovuta al contributo della dilatanza ($\phi' - \phi_{CV}$), funzione del mutuo incastro delle particelle e legato direttamente alla densità relativa, dal livello tensionale e dalla cementazione. Il diagramma di Bolton (1986) mostra il legame esistente tra la densità relativa e la componente dilatante dell'angolo di resistenza al taglio; è valido, in particolare, per sabbie quarzose non cementate e recenti, con valori di angolo di resistenza al taglio ricavati in condizioni triassiali e in condizioni di deformazione piana, questi ultimi utilizzati per la maggior parte dei problemi pratici di progettazione.

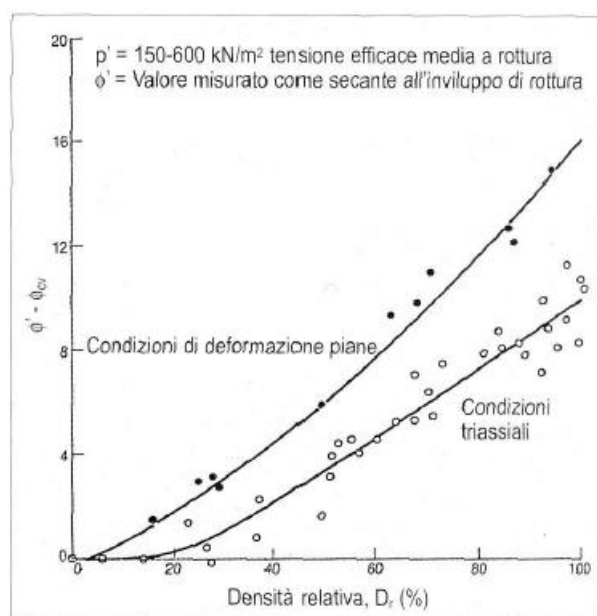


Figura 22 – Correlazione di Bolton (1986)

In definitiva, una volta calcolato il valore della densità relativa, per stimare l'angolo di resistenza al taglio dei terreni si è utilizzata la correlazione proposta da Schmertmann (1977), per diverse granulometrie.

$\phi'(^{\circ}) = 28 + 0,14 \cdot D_R$	Sabbia fine uniforme
$\phi'(^{\circ}) = 31,5 + 0,115 \cdot D_R$	Sabbia media uniforme e sabbia fine ben gradata
$\phi'(^{\circ}) = 34,5 + 0,10 \cdot D_R$	Sabbia grossa uniforme e sabbia media ben gradata
$\phi'(^{\circ}) = 38 + 0,08 \cdot D_R$	Ghiaia media e fine e sabbia e ghiaia poco limosa

Figura 23 – Correlazione di Schmertmann (1977)

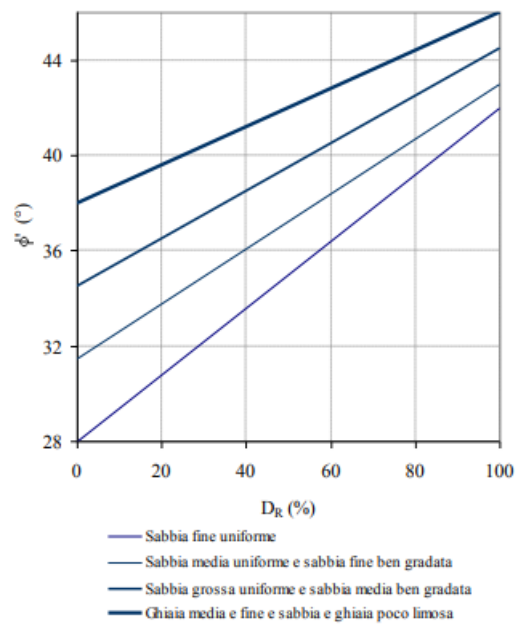
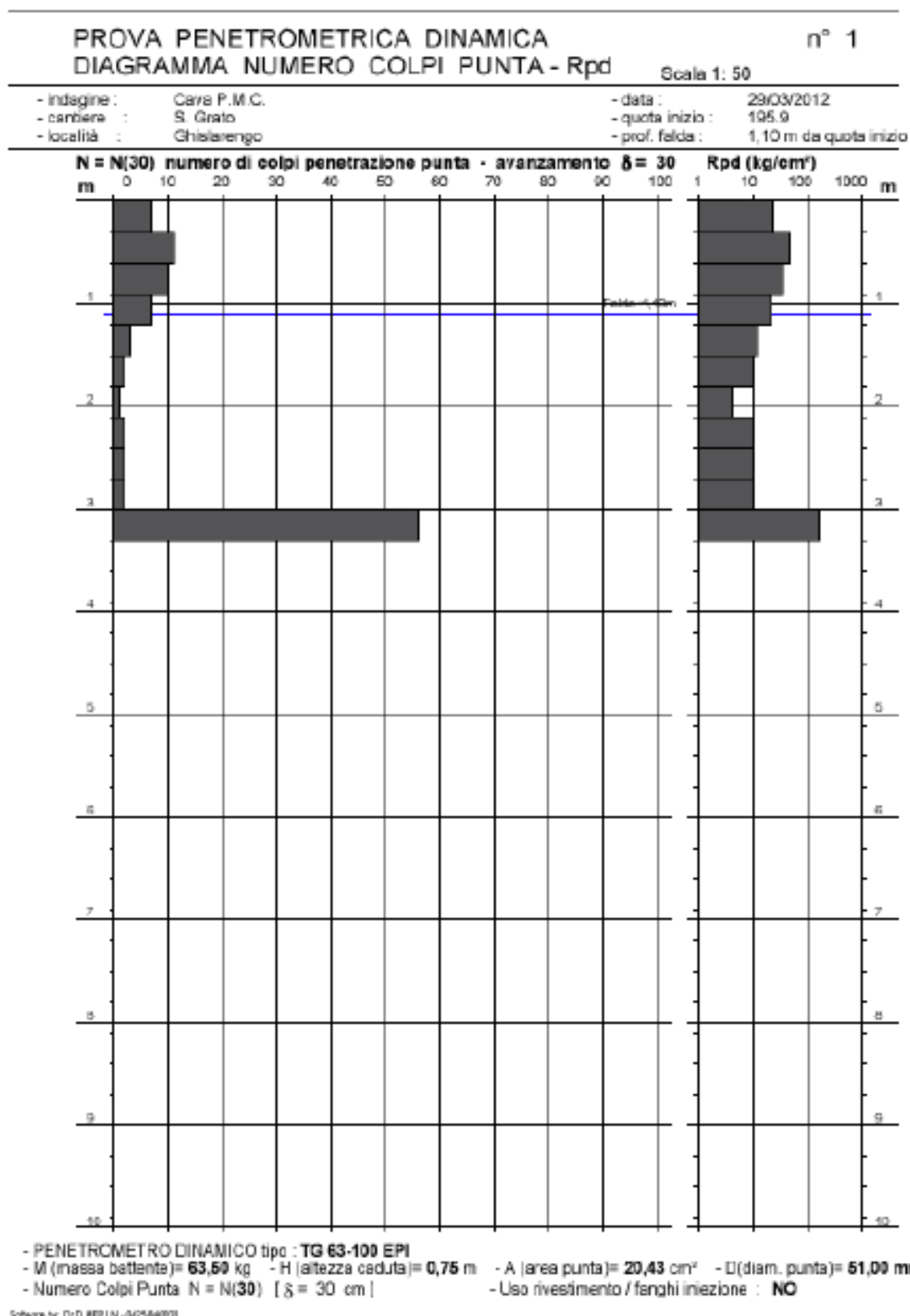


Figura 24 – Stima di ϕ' da D_R per differenti granulometrie secondo Schmertmann (1977)

PROVA PENETROMETRICA SPT1



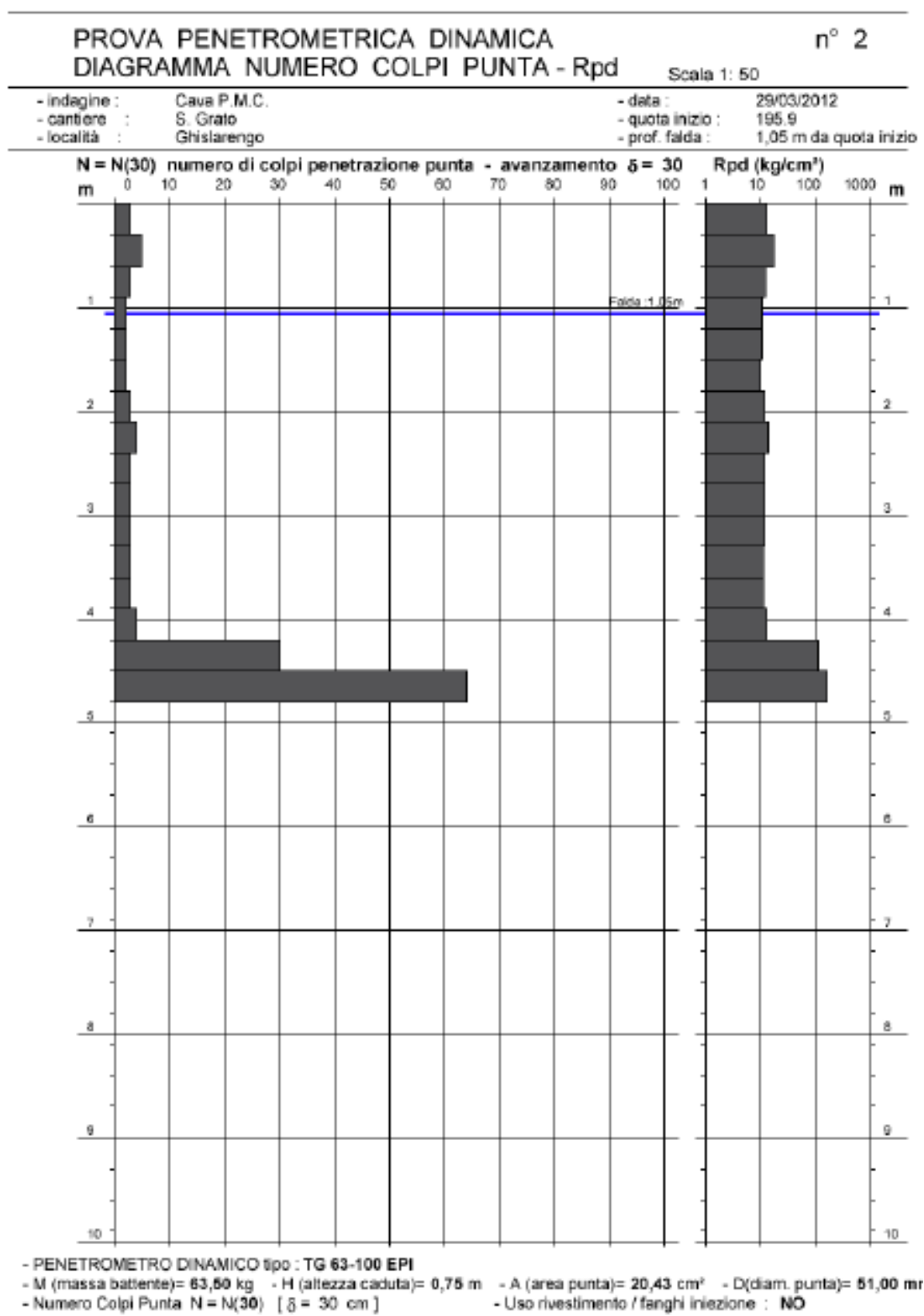
Profondità	N	γ	σ	U	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
[m]	-	[t/mc]	[t/mq]	[t/mq]	[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	6	1,7	0,51	0	0,05	5,00	1,30	0,75	5,85	4,43	1,90	1,46	1,46	9
0,6	10	1,7	1,02	0	0,10	10,00	1,30	0,75	9,75	3,13	1,81	1,43	1,43	14
0,9	10	1,7	1,53	0	0,15	15,00	1,30	0,75	9,75	2,56	1,73	1,39	1,39	14
1,2	7	1,7	2,04	0,1	0,19	19,03	1,30	0,75	6,83	2,27	1,68	1,37	1,41	10
1,5	3	1,6	2,4	0,4	0,20	19,61	1,30	0,75	2,93	2,24	1,67	1,36	1,40	4
1,8	2	1,6	2,88	0,7	0,22	21,38	1,30	0,75	1,95	2,14	1,64	1,35	1,38	3
2,1	1	1,6	3,36	1	0,24	23,14	1,30	0,75	0,98	2,06	1,62	1,34	1,37	1
2,4	2	1,6	3,84	1,3	0,25	24,91	1,30	0,75	1,95	1,98	1,59	1,33	1,33	3
2,7	2	1,6	4,32	1,6	0,27	26,67	1,30	0,75	1,95	1,92	1,57	1,32	1,32	3
3	2	1,6	4,8	1,9	0,29	28,44	1,30	0,75	1,95	1,86	1,55	1,31	1,31	3
3,3	60	1,9	6,27	2,2	0,41	39,91	1,30	0,75	58,50	1,57	1,42	1,25	1,25	73

Figura 25 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT1

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia limosa ghiaiosa	0,0 - 1,2	18	54,3	37,8	1,7
2	Sabbia limosa	1,2 - 3,0	2	16,0	33,3	1,6
3	Ghiaia e ciottoli con sabbia	3,0 - 3,3	73	-	46,8	1,9

Figura 26 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT1

PROVA PENETROMETRICA SPT2



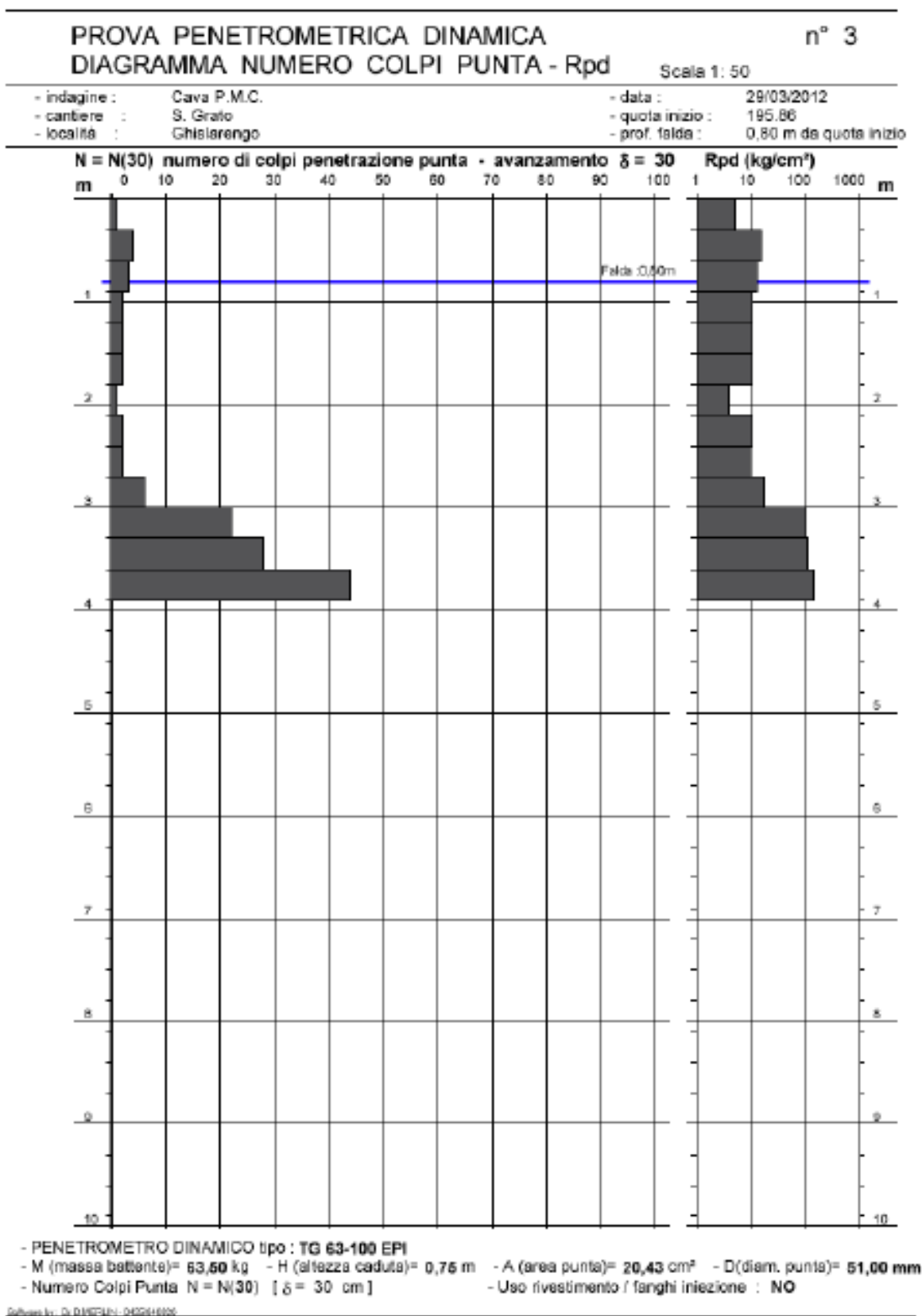
Profondità [m]	N	γ [t/mc]	σ [t/mq]	U [t/mq]	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
					[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	3	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	2,93	4,56	1,91	1,46	1,46	4
0,6	5	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	4,88	3,23	1,82	1,43	1,43	7
0,9	3	1,6	1,44	0	0,14	14,12	1,30	0,75	2,93	2,64	1,75	1,40	1,40	4
1,2	2	1,6	1,92	0,15	0,18	17,36	1,30	0,75	1,95	2,38	1,70	1,38	1,41	3
1,5	2	1,6	2,4	0,45	0,20	19,12	1,30	0,75	1,95	2,26	1,67	1,37	1,40	3
1,8	2	1,6	2,88	0,75	0,21	20,89	1,30	0,75	1,95	2,17	1,65	1,36	1,38	3
2,1	3	1,6	3,36	1,05	0,23	22,65	1,30	0,75	2,93	2,08	1,62	1,34	1,37	4
2,4	4	1,6	3,84	1,35	0,25	24,42	1,30	0,75	3,90	2,00	1,60	1,33	1,33	5
2,7	3	1,6	4,32	1,65	0,27	26,18	1,30	0,75	2,93	1,94	1,58	1,32	1,32	4
3	3	1,6	4,8	1,95	0,29	27,95	1,30	0,75	2,93	1,87	1,56	1,31	1,31	4
3,3	3	1,6	5,28	2,25	0,30	29,71	1,30	0,75	2,93	1,82	1,53	1,30	1,30	4
3,6	3	1,6	5,76	2,55	0,32	31,48	1,30	0,75	2,93	1,77	1,51	1,29	1,29	4
3,9	3	1,6	6,24	2,85	0,34	33,25	1,30	0,75	2,93	1,72	1,49	1,28	1,28	4
4,2	4	1,6	6,72	3,15	0,36	35,01	1,30	0,85	4,42	1,67	1,47	1,27	1,27	6
4,5	30	1,9	8,55	3,45	0,51	50,01	1,30	0,85	33,15	1,40	1,32	1,20	1,20	40
4,8	64	1,9	9,12	3,75	0,54	52,66	1,30	0,85	70,72	1,36	1,30	1,18	1,18	83

Figura 27 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT2

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Limo argilloso con sabbia	0,00 - 4,20	6	32,4	32,5	1,6
2	Ghiaia e ciottoli con sabbia	4,20 - 4,80	57	-	45,8	1,9

Figura 28 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT2

PROVA PENETROMETRICA SPT3



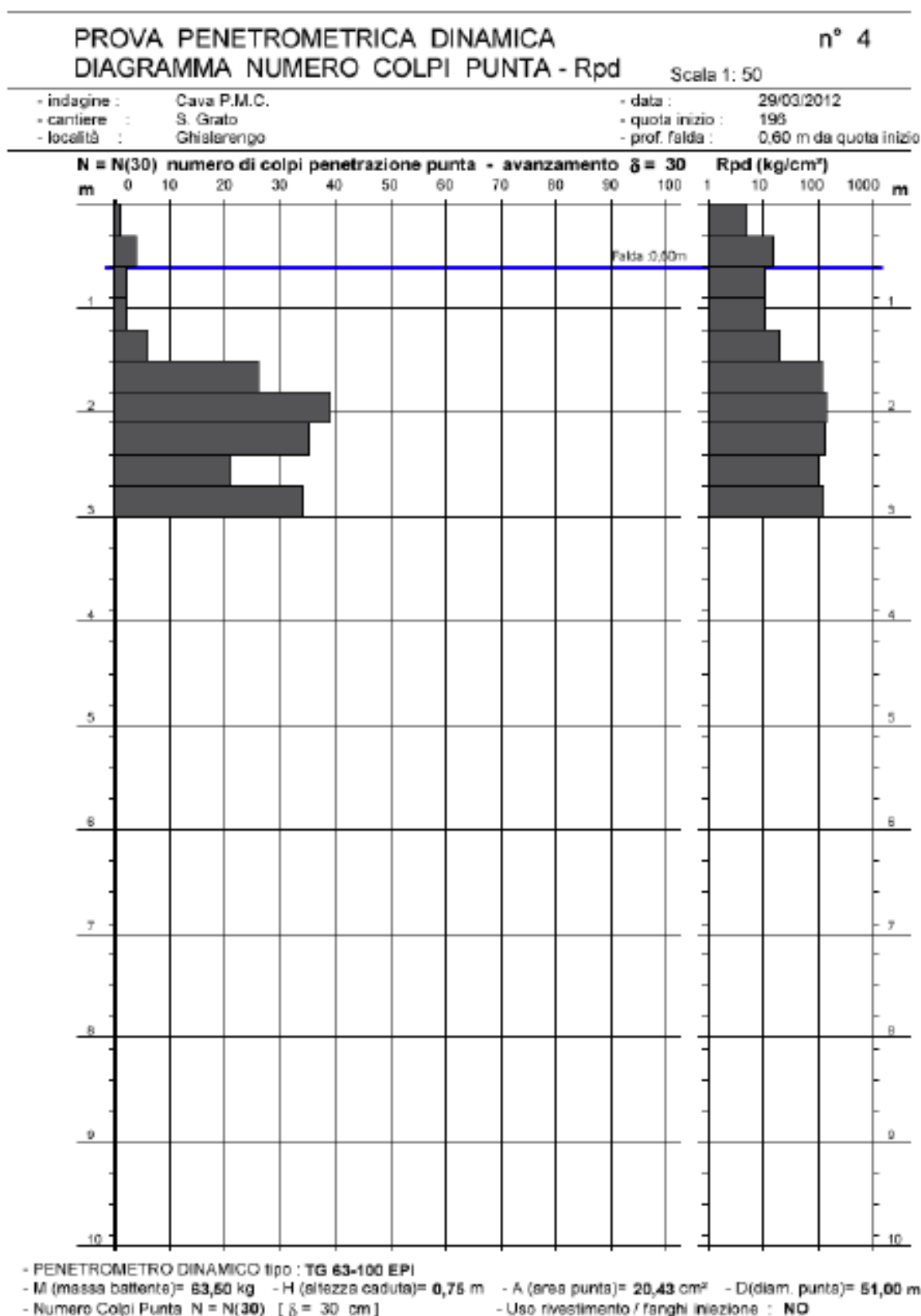
Profondità [m]	N	γ [t/mc]	σ [t/mq]	U [t/mq]	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
					[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	1	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	0,98	4,56	1,91	1,46	1,46	1
0,6	4	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	3,90	3,23	1,82	1,43	1,43	6
0,9	3	1,6	1,44	0,1	0,13	13,14	1,30	0,75	2,93	2,73	1,76	1,41	1,41	4
1,2	2	1,6	1,92	0,4	0,15	14,91	1,30	0,75	1,95	2,56	1,74	1,39	1,41	3
1,5	2	1,6	2,4	0,7	0,17	16,67	1,30	0,75	1,95	2,43	1,71	1,38	1,40	3
1,8	2	1,6	2,88	1	0,19	18,44	1,30	0,75	1,95	2,31	1,68	1,37	1,38	3
2,1	1	1,6	3,36	1,3	0,21	20,20	1,30	0,75	0,98	2,20	1,66	1,36	1,37	1
2,4	2	1,6	3,84	1,6	0,22	21,97	1,30	0,75	1,95	2,11	1,63	1,35	1,35	3
2,7	2	1,6	4,32	1,9	0,24	23,73	1,30	0,75	1,95	2,03	1,61	1,34	1,34	3
3	6	1,6	4,8	2,2	0,26	25,50	1,30	0,75	5,85	1,96	1,59	1,33	1,33	8
3,3	23	1,9	6,27	2,5	0,38	36,97	1,30	0,75	22,43	1,63	1,45	1,26	1,26	28
3,6	30	1,9	6,84	2,8	0,40	39,62	1,30	0,75	29,25	1,57	1,42	1,25	1,25	37
3,9	48	1,9	7,41	3,1	0,43	42,27	1,30	0,75	46,80	1,52	1,40	1,23	1,23	58

Figura 29 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT3

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia limosa	0,00 - 3,00	4	26,1	31,7	1,6
2	Ghiaia e ciottoli con sabbia	3,00 - 3,90	42	-	44,7	1,9

Figura 30 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT3

PROVA PENETROMETRICA SPT4



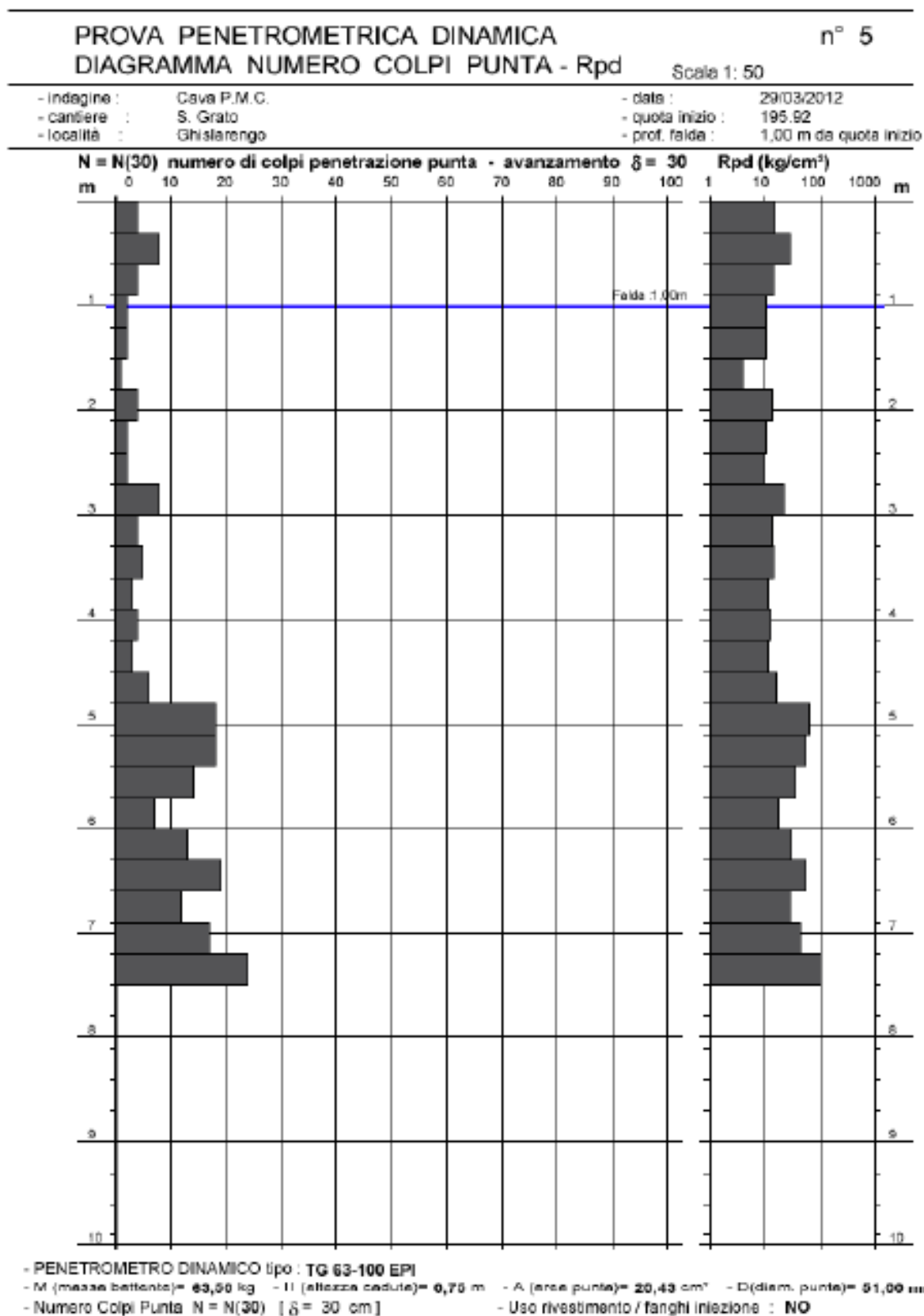
Profondità	N	γ	σ	U	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
[m]	-	[t/mc]	[t/mq]	[t/mq]	[kg/cmq]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	1	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	0,98	4,56	1,91	1,46	1,46	1
0,6	4	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	3,90	3,23	1,82	1,43	1,43	6
0,9	2	1,6	1,44	0,3	0,11	11,18	1,30	0,75	1,95	2,96	1,80	1,42	1,42	3
1,2	2	1,6	1,92	0,6	0,13	12,94	1,30	0,75	1,95	2,75	1,77	1,41	1,41	3
1,5	6	1,6	2,4	0,9	0,15	14,71	1,30	0,75	5,85	2,58	1,74	1,40	1,40	8
1,8	25	1,9	3,42	1,2	0,22	21,77	1,30	0,75	24,38	2,12	1,64	1,35	1,35	33
2,1	38	1,9	3,99	1,5	0,25	24,42	1,30	0,75	37,05	2,00	1,60	1,33	1,33	49
2,4	35	1,9	4,56	1,8	0,28	27,07	1,30	0,75	34,13	1,90	1,57	1,32	1,32	45
2,7	22	1,9	5,13	2,1	0,30	29,71	1,30	0,75	21,45	1,82	1,53	1,30	1,30	28
3	35	1,9	5,7	2,4	0,33	32,36	1,30	0,75	34,13	1,74	1,50	1,29	1,29	44

Figura 31 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT4

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m³]
1	Sabbia con limo argilloso	0,00 - 1,50	4	25,5	31,6	1,6
2	Ghiaia e ciottoli con sabbia	1,50 - 3,00	54	-	45,6	1,9

Figura 32 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT4

PROVA PENETROMETRICA SPT5



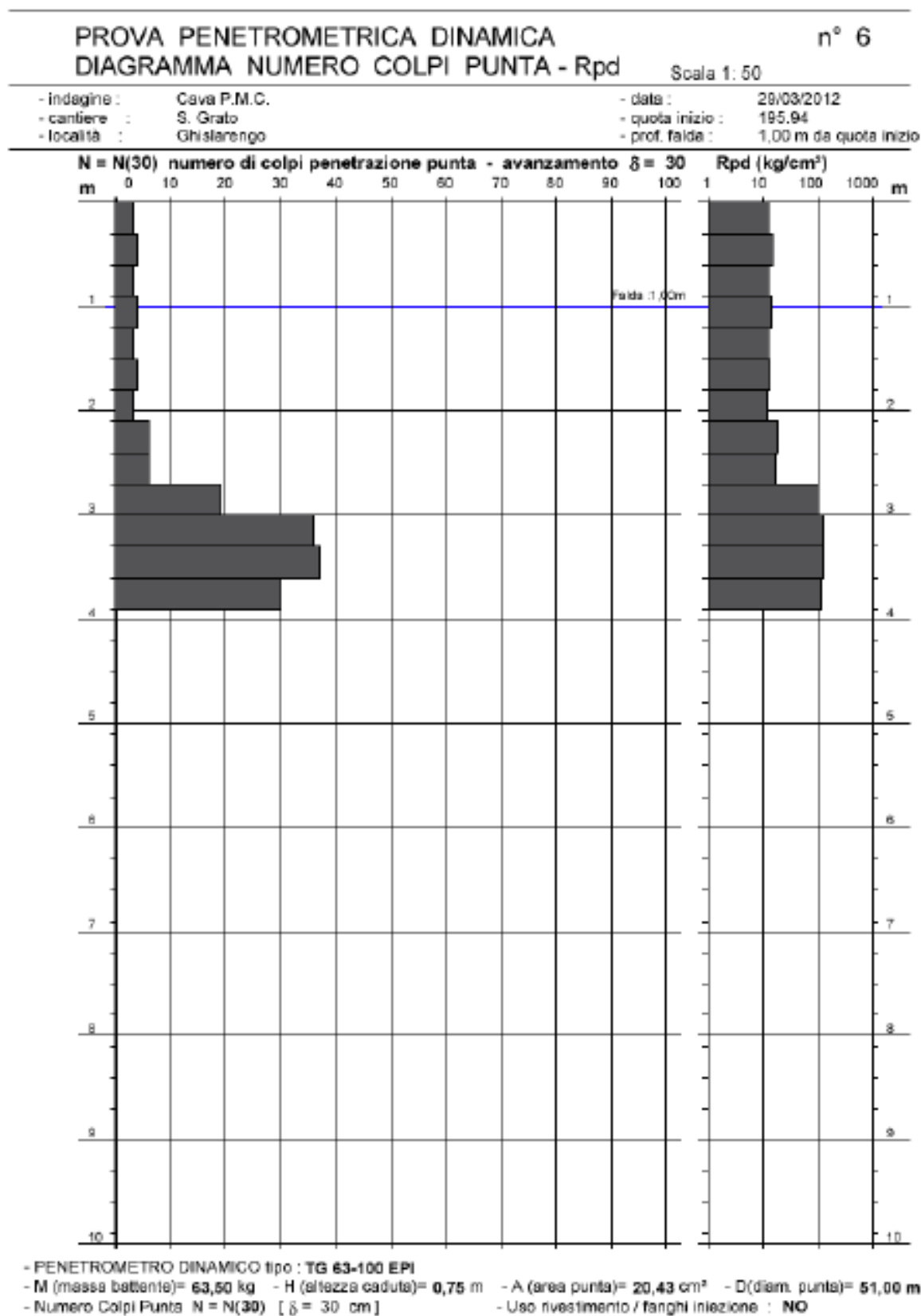
Profondità [m]	N	γ [t/mc]	σ [t/mq]	U [t/mq]	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
					[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	4	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	3,90	4,56	1,91	1,46	1,46	6
0,6	7	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	6,83	3,23	1,82	1,43	1,43	10
0,9	4	1,6	1,44	0	0,14	14,12	1,30	0,75	3,90	2,64	1,75	1,40	1,40	5
1,2	2	1,6	1,92	0,2	0,17	16,87	1,30	0,75	1,95	2,41	1,71	1,38	1,41	3
1,5	2	1,6	2,4	0,5	0,19	18,63	1,30	0,75	1,95	2,29	1,68	1,37	1,40	3
1,8	1	1,6	2,88	0,8	0,21	20,40	1,30	0,75	0,98	2,19	1,66	1,36	1,38	1
2,1	4	1,6	3,36	1,1	0,23	22,16	1,30	0,75	3,90	2,10	1,63	1,35	1,37	5
2,4	2	1,6	3,84	1,4	0,24	23,93	1,30	0,75	1,95	2,02	1,61	1,34	1,34	3
2,7	2	1,6	4,32	1,7	0,26	25,69	1,30	0,75	1,95	1,95	1,58	1,33	1,33	3
3	8	1,7	5,1	2	0,31	30,40	1,30	0,75	7,80	1,80	1,53	1,30	1,30	10
3,3	4	1,7	5,61	2,3	0,33	32,46	1,30	0,75	3,90	1,74	1,50	1,29	1,29	5
3,6	5	1,7	6,12	2,6	0,35	34,52	1,30	0,75	4,88	1,69	1,48	1,28	1,28	6
3,9	3	1,7	6,63	2,9	0,37	36,58	1,30	0,75	2,93	1,64	1,46	1,26	1,26	4
4,2	4	1,7	7,14	3,2	0,39	38,64	1,30	0,85	4,42	1,59	1,43	1,25	1,25	6
4,5	3	1,7	7,65	3,5	0,42	40,70	1,30	0,85	3,32	1,55	1,41	1,24	1,24	4
4,8	6	1,7	8,16	3,8	0,44	42,76	1,30	0,85	6,63	1,51	1,39	1,23	1,23	8
5,1	18	1,9	9,69	4,1	0,56	54,82	1,30	0,85	19,89	1,34	1,28	1,17	1,17	23
5,4	18	1,9	10,26	4,4	0,59	57,47	1,30	0,85	19,89	1,31	1,26	1,16	1,16	23
5,7	14	1,9	10,83	4,7	0,61	60,12	1,30	0,85	15,47	1,28	1,24	1,15	1,15	18
6	7	1,9	11,4	5	0,64	62,76	1,30	0,85	7,74	1,25	1,22	1,14	1,16	9
6,3	12	1,9	11,97	5,3	0,67	65,41	1,30	0,85	13,26	1,22	1,20	1,12	1,12	15
6,6	18	1,9	12,54	5,6	0,69	68,06	1,30	0,85	19,89	1,20	1,18	1,11	1,11	22
6,9	11	1,9	13,11	5,9	0,72	70,71	1,30	0,85	12,16	1,18	1,16	1,10	1,13	14
7,2	16	1,9	13,68	6,2	0,75	73,35	1,30	0,85	17,68	1,16	1,14	1,09	1,09	19
7,5	23	1,9	14,25	6,5	0,78	76,00	1,30	0,85	25,42	1,14	1,13	1,08	1,08	27

Figura 33 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT5

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia limosa	0,00 - 2,70	4	25,7	31,6	1,6
2	Sabbia limosa ghiaiosa	2,70 - 4,80	7	35,0	35,5	1,7
3	Sabbia con ghiaia	4,80 - 7,50	14	48,9	41,9	1,9

Figura 34 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT5

PROVA PENETROMETRICA SPT6



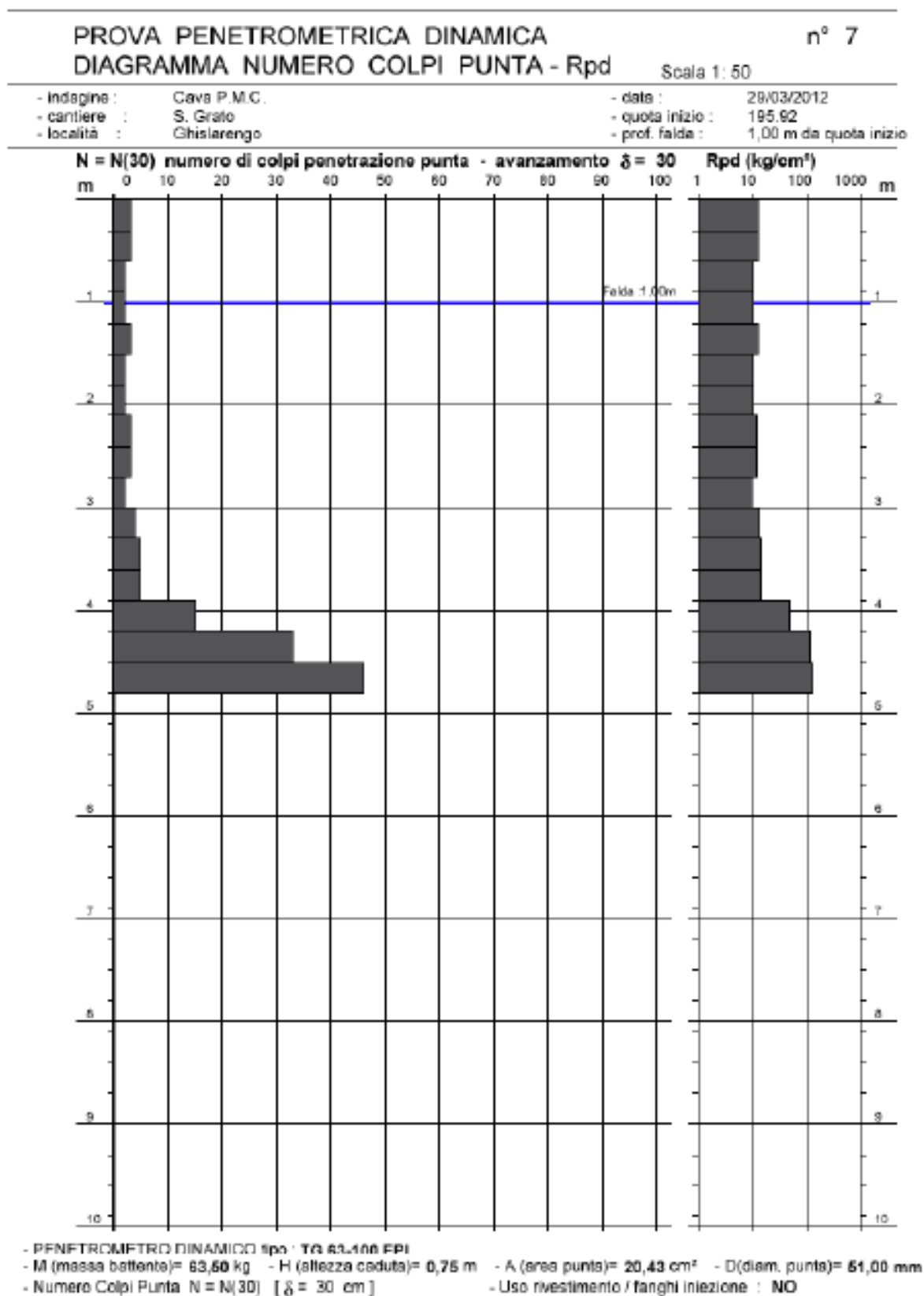
Profondità	N	γ	σ	U	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
[m]	-	[t/mc]	[t/mq]	[t/mq]	[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	3	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	2,93	4,56	1,91	1,46	1,46	4
0,6	4	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	3,90	3,23	1,82	1,43	1,43	6
0,9	3	1,6	1,44	0	0,14	14,12	1,30	0,75	2,93	2,64	1,75	1,40	1,40	4
1,2	4	1,6	1,92	0,2	0,17	16,87	1,30	0,75	3,90	2,41	1,71	1,38	1,41	5
1,5	3	1,6	2,4	0,5	0,19	18,63	1,30	0,75	2,93	2,29	1,68	1,37	1,40	4
1,8	4	1,6	2,88	0,8	0,21	20,40	1,30	0,75	3,90	2,19	1,66	1,36	1,38	5
2,1	3	1,6	3,36	1,1	0,23	22,16	1,30	0,75	2,93	2,10	1,63	1,35	1,37	4
2,4	6	1,6	3,84	1,4	0,24	23,93	1,30	0,75	5,85	2,02	1,61	1,34	1,34	8
2,7	6	1,6	4,32	1,7	0,26	25,69	1,30	0,75	5,85	1,95	1,58	1,33	1,33	8
3	20	1,9	5,7	2	0,37	36,29	1,30	0,75	19,50	1,64	1,46	1,27	1,27	25
3,3	38	1,9	6,27	2,3	0,40	38,93	1,30	0,75	37,05	1,59	1,43	1,25	1,25	46
3,6	40	1,9	6,84	2,6	0,42	41,58	1,30	0,75	39,00	1,54	1,40	1,24	1,24	48
3,9	33	1,9	7,41	2,9	0,45	44,23	1,30	0,75	32,18	1,49	1,38	1,22	1,22	39

Figura 35 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT6

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia limosa	0,00 - 2,70	8	36,3	33,1	1,6
2	Ghiaia e ciottoli con sabbia	2,70 - 3,90	61	-	46,0	1,9

Figura 36 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT6

PROVA PENETROMETRICA SPT7



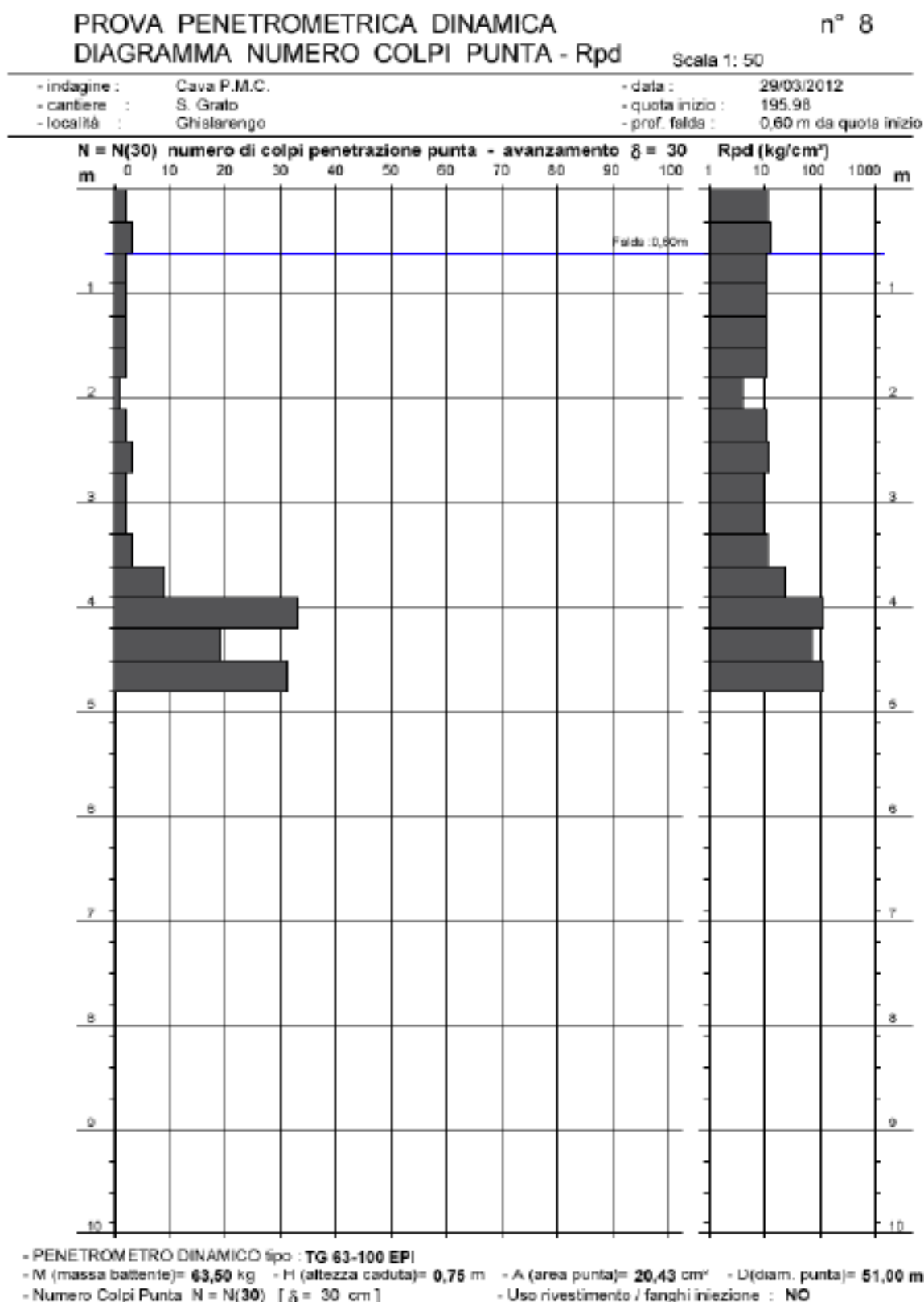
Profondità [m]	N	γ [t/mc]	σ [t/mq]	U [t/mq]	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
					[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	3	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	2,93	4,56	1,91	1,46	1,46	4
0,6	3	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	2,93	3,23	1,82	1,43	1,43	4
0,9	2	1,6	1,44	0	0,14	14,12	1,30	0,75	1,95	2,64	1,75	1,40	1,40	3
1,2	2	1,6	1,92	0,2	0,17	16,87	1,30	0,75	1,95	2,41	1,71	1,38	1,41	3
1,5	3	1,6	2,4	0,5	0,19	18,63	1,30	0,75	2,93	2,29	1,68	1,37	1,40	4
1,8	2	1,6	2,88	0,8	0,21	20,40	1,30	0,75	1,95	2,19	1,66	1,36	1,38	3
2,1	2	1,6	3,36	1,1	0,23	22,16	1,30	0,75	1,95	2,10	1,63	1,35	1,37	3
2,4	3	1,6	3,84	1,4	0,24	23,93	1,30	0,75	2,93	2,02	1,61	1,34	1,34	4
2,7	3	1,6	4,32	1,7	0,26	25,69	1,30	0,75	2,93	1,95	1,58	1,33	1,33	4
3	2	1,6	4,8	2	0,28	27,46	1,30	0,75	1,95	1,89	1,56	1,32	1,32	3
3,3	4	1,6	5,28	2,3	0,30	29,22	1,30	0,75	3,90	1,83	1,54	1,31	1,31	5
3,6	5	1,6	5,76	2,6	0,32	30,99	1,30	0,75	4,88	1,78	1,52	1,30	1,30	6
3,9	5	1,6	6,24	2,9	0,33	32,75	1,30	0,75	4,88	1,73	1,50	1,29	1,29	6
4,2	15	1,9	7,98	3,2	0,48	46,88	1,30	0,85	16,58	1,45	1,35	1,21	1,21	20
4,5	32	1,9	8,55	3,5	0,51	49,52	1,30	0,85	35,36	1,41	1,33	1,20	1,20	42
4,8	46	1,9	9,12	3,8	0,53	52,17	1,30	0,85	50,83	1,37	1,31	1,18	1,18	60

Figura 37 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT7

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia limosa	0,00 - 3,90	4	26,3	31,7	1,6
2	Ghiaia e ciottoli con sabbia	3,90 - 4,80	60	-	46,0	1,9

Figura 38 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT7

PROVA PENETROMETRICA SPT8



Profondità [m]	N	γ [t/mc]	σ [t/mq]	U [t/mq]	σ'_{vo}		N60			CN teorico			CN adottato	N1(60)
					[kg/cm ²]	[kN/mq]	Corr. Rendimento	Corr. Aste	N60	Liao	Skempton sabbie fini	Skempton sabbie grosse		
0,3	2	1,6	0,48	0	0,05	4,71	1,30	0,75	1,95	4,56	1,91	1,46	1,46	3
0,6	3	1,6	0,96	0	0,10	9,41	1,30	0,75	2,93	3,23	1,82	1,43	1,43	4
0,9	2	1,6	1,44	0,3	0,11	11,18	1,30	0,75	1,95	2,96	1,80	1,42	1,42	3
1,2	2	1,6	1,92	0,6	0,13	12,94	1,30	0,75	1,95	2,75	1,77	1,41	1,41	3
1,5	2	1,6	2,4	0,9	0,15	14,71	1,30	0,75	1,95	2,58	1,74	1,40	1,40	3
1,8	2	1,6	2,88	1,2	0,17	16,48	1,30	0,75	1,95	2,44	1,71	1,38	1,38	3
2,1	1	1,6	3,36	1,5	0,19	18,24	1,30	0,75	0,98	2,32	1,69	1,37	1,37	1
2,4	2	1,6	3,84	1,8	0,20	20,01	1,30	0,75	1,95	2,21	1,66	1,36	1,36	3
2,7	3	1,6	4,32	2,1	0,22	21,77	1,30	0,75	2,93	2,12	1,64	1,35	1,35	4
3	2	1,6	4,8	2,4	0,24	23,54	1,30	0,75	1,95	2,04	1,61	1,34	1,34	3
3,3	2	1,6	5,28	2,7	0,26	25,30	1,30	0,75	1,95	1,97	1,59	1,33	1,33	3
3,6	3	1,6	5,76	3	0,28	27,07	1,30	0,75	2,93	1,90	1,57	1,32	1,32	4
3,9	10	1,8	7,02	3,3	0,37	36,48	1,30	0,75	9,75	1,64	1,46	1,26	1,26	12
4,2	32	1,9	7,98	3,6	0,44	42,95	1,30	0,85	35,36	1,51	1,39	1,23	1,23	43
4,5	18	1,9	8,55	3,9	0,47	45,60	1,30	0,85	19,89	1,47	1,37	1,22	1,22	24
4,8	30	1,9	9,12	4,2	0,49	48,25	1,30	0,85	33,15	1,43	1,34	1,20	1,20	40

Figura 39 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT8

Strato	Litologia	Profondità [m]	Nspt	DR [%]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia con limo	0,00 - 3,60	4	26,7	31,7	1,6
2	Sabbia limosa con ghiaia	3,60 - 4,80	61	-	46,1	1,9

Figura 40 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT8

6.3. Modello geologico-geotecnico

Come si ha modo di osservare dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche realizzate, il sottosuolo è caratterizzato da una certa variabilità, dovuta ad un'alternanza di depositi sedimentari a diverse granulometrie. Nello specifico, per i primi 5 metri di profondità si è ricavato un modello geologico-geotecnico a due strati, con uno più superficiale costituito da sabbie limose ed uno più profondo a ghiaie e ciottoli con sabbie. Nella definizione dell'angolo di attrito interno dei due litotipi, per la sabbia limosa si è considerato il valore medio di 32°, dato che tra le varie prove i valori oscillavano tra 31° e 33°; per la ghiaia, invece, visti i valori particolarmente alti di densità relativa ottenuti, con evidente influenza su ϕ' , si è scelto il valore più cautelativo ottenuto, pari a 42°.

Strato	Litologia	Profondità [m]	ϕ' [°]	γ [t/m ³]
1	Sabbia limosa	0,00 - 3,00	32,0	1,6
2	Ghiaia e ciottoli con sabbia	3,00 - 5,00	42,0	1,9

Figura 41 – Modello geologico – geotecnico

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

7.1. Sismicità storica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2015 ha prodotto il Database Macrosismico Italiano (*Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). Database Macrosismico Italiano (DBMI15). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>*), il quale fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale dall'anno 1000 al 2014, aventi intensità massima ≥ 5 .

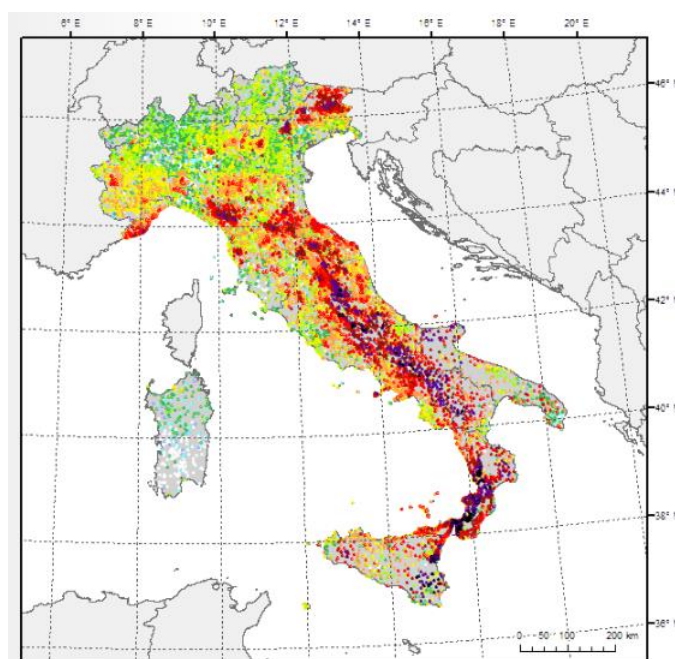


Figura 42 – Distribuzione delle intensità massime osservate sul territorio italiano (DBMI15)

Riducendo la ricerca al solo comune di Ghislarengo si ha evidenza che il comune non compare all'interno del DBMI15. Pertanto, si è considerato il vicino comune di Arborio, in provincia di Vercelli, distante circa 4 km, per il quale si è ottenuto che lo stesso è stato interessato da 2 eventi sismici, dal 1887 al 1968, dei quali il più forte è stato il terremoto localizzato nella Liguria occidentale, avente Mw pari a 6.27.

Arborio

PlaceID IT_02748
 Coordinate (lat, lon) 45.495, 8.390
 Comune (ISTAT 2015) Arborio
 Provincia Vercelli
 Regione Piemonte
 Numero di eventi riportati 2



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	↗ 1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	↗ 1968	06	18	05	27		Valle d'Aosta	60	6	4.86

Figura 43 – Estratto storia sismica comune di Arborio (DBMI15)

Altra importante fonte per definire la sismicità di una determinata zona è la Zonazione Sismogenetica ZS9, la quale, utilizzando modelli geodinamici e sismotettonici, oltre ad un aggiornato catalogo sismico, individua le aree sismogenetiche del territorio italiano. Come si evince da tale zonazione, il comune di Ghislarengo, e più in generale l'intera provincia di Vercelli e la maggioranza del Piemonte orientale, non risulta essere inserito in alcuna zona sismogenetica.

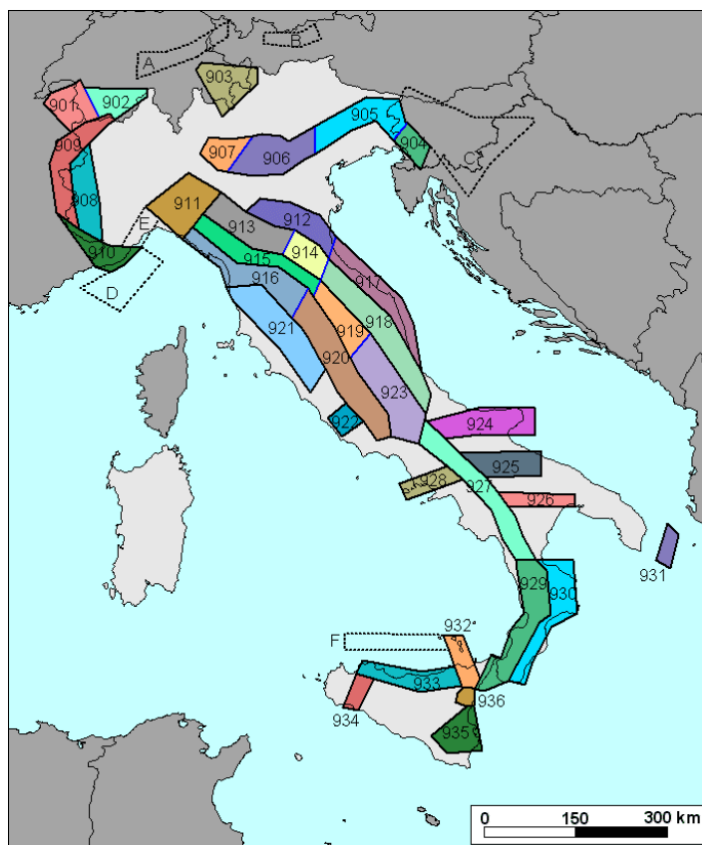


Figura 44 – Zonazione Sismogenetica ZS9 del territorio italiano (INGV)

7.2. Azione sismica

Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente ($S_e(T)$), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Parametri progettuali:

- Classe d'uso IV
- Coefficiente d'uso CU 2
- Vita nominale VN 50 anni
- Periodo di riferimento VR 100 anni
- Tempo di ritorno 949 anni

Definiti i suddetti valori, si ottengono i parametri dell'azione sismica come da documento Excel del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici SPETTRI-NTC.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,019	2,550	0,173
SLD	101	0,024	2,565	0,213
SLV	949	0,044	2,626	0,296
SLC	1950	0,052	2,708	0,312

Figura 45 – Parametri azione sismica in funzione dello Stato Limite

7.3. Pericolosità sismica

L'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274 ha pubblicato una classificazione sismica dei comuni del territorio italiano, con la novità dell'eliminazione della categoria "non classificato" e l'inserimento di tutti i comuni in quattro diverse zone. Il comune di Ghislarengo, secondo l'aggiornamento al 31 gennaio 2019 della stessa classificazione, risulta essere inserito nella zona sismica 4, la meno pericolosa, in cui la probabilità che si verifichi un terremoto è molto bassa, e per la quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica. Tale classificazione è stata recepita dalla Regione Piemonte con Delibera della Giunta Regionale n.4-3084 del 12 dicembre 2011.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto ed in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. Si è quindi redatta una mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.08.2005).

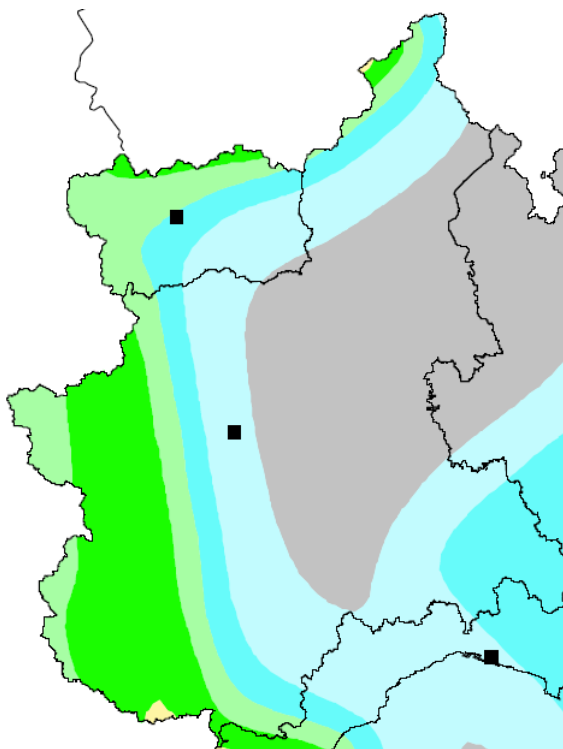


Figura 46 – Carta stralcio pericolosità sismica Piemonte con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV)

Dati però i parametri progettuali in precedenza esposti è necessario considerare la carta di pericolosità sismica con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni. Dunque, il comune di Ghislarengo ricade in un'area per la quale si deve considerare un'accelerazione compresa tra 0.025 e 0.050 g, con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni.

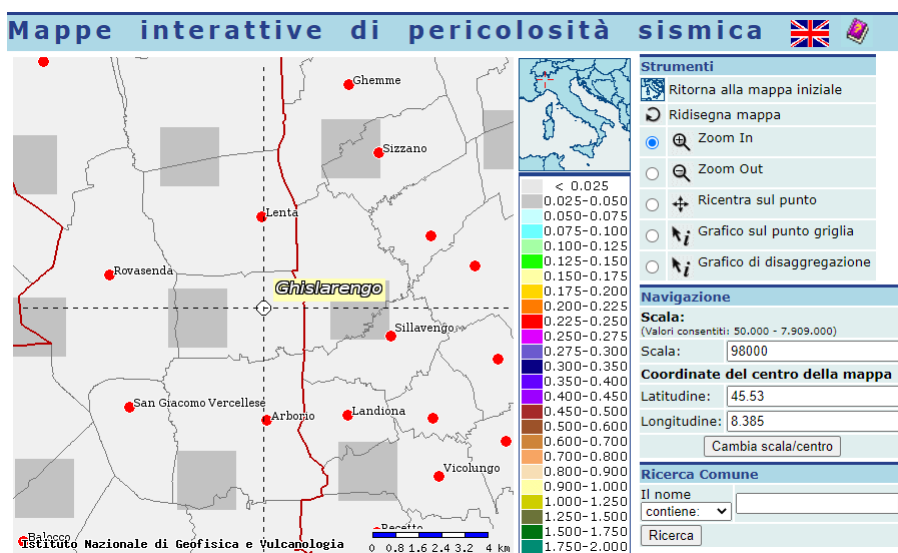


Figura 47 – Pericolosità sismica comune di Ghislarengo con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (INGV)

Di seguito si riportano inoltre i risultati delle analisi di disaggregazione. La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito, la cui forma più comune è quella bidimensionale relazionata alla magnitudo M ed alla distanza R , che permette di valutare il

contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Tale processo di disaggregazione fornisce dunque il terremoto dominante lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Da questa analisi bidimensionale è possibile passare ad una tridimensionale mediante il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R. Il Gruppo di Lavoro MPS 2004 ha condotto l'analisi di disaggregazione per oltre 16 mila siti corrispondenti ai nodi della griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale.

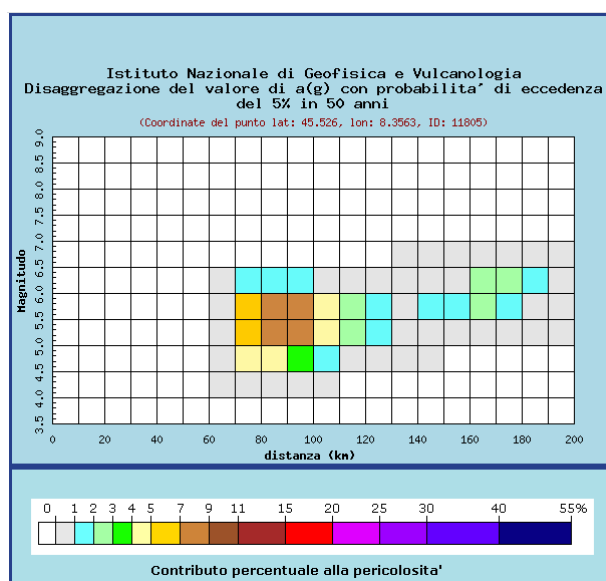


Figura 48 – Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (fonte: INGV) (1/2)

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.526, lon: 8.3563, ID: 11805)									
	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
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.041	0.182	0.244	0.238	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.731	4.640	6.930	6.060	1.100	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.183	4.390	8.430	7.480	1.440	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.036	3.090	8.080	7.270	1.410	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.003	1.350	4.960	4.330	0.769	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.425	2.610	2.160	0.320	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.123	1.360	1.220	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.026	0.659	0.700	0.054	0.001	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.001	0.494	1.090	0.388	0.077	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.280	1.060	0.627	0.100	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.353	2.010	2.250	0.102	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.194	1.720	2.260	0.099	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.052	0.880	1.330	0.087	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.008	0.454	0.778	0.071	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.490	105.000	2.060

Figura 49 – Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (fonte: INGV) (2/2)

Dall'analisi dei risultati della disaggregazione di $a(g)$ per il nodo della griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano più prossimo al sito di interesse, risulta che il terremoto di riferimento ha magnitudo momento compresa tra 4.5 e 6.5 e distanza compresa tra 70 e 190 km, con i rispettivi valori medi di 5.49, distanza di 105 km e deviazione standard di 2.06.

7.4. Stati limite

Riguardo le prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti, sono individuati, nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU):

- **Stati limite di esercizio (SLE):**
 - Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi. Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R dell'81%.
 - Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature. Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R del 63%.
- **Stati limite ultimi (SLU):**
 - Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali. Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R del 10%.
 - Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R del 5%.

7.5. Categoria del sottosuolo

Le Norme Tecniche per le Costruzioni indicano le modalità di esecuzione delle analisi specifiche per definire l'azione sismica di progetto. In alternativa, viene stabilito un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie di seguito descritte.

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

Figura 50 – Categorie di sottosuolo per l'utilizzo dell'approccio semplificato (NTC2018)

Si nota, dunque, che i valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove e la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con h_i spessore dell'i-esimo strato, $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato, N numero di strati, H profondità del substrato avente V_s non inferiore a 800 m/s.

Altro parametro fondamentale nella definizione della risposta sismica locale è dato dalle condizioni topografiche. Le NTC indicano quattro categorie differenti, così definite:

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 $i > 30^\circ$

Figura 51 – Condizioni topografiche per l'utilizzo dell'approccio semplificato (NTC2018)

Per il sito in esame non sono state eseguite indagini geognostiche atte ad individuare il profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo, quindi non è stato possibile attribuire, secondo quanto prescritto dalle NTC 2018, una precisa categoria allo stesso. Tuttavia, date le condizioni geologiche del sito è possibile considerare in via cautelativa la categoria C, fermo restando il carattere puramente indicativo di tale classificazione. Dal punto di vista topografico la superficie pianeggiante è assimilabile alla categoria T1. Una volta definite le categorie di sottosuolo e topografica, si ricavano i valori di amplificazione stratigrafica e topografica per la costruzione dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.

8. LIQUEFAZIONE

In fase di progettazione e di verifiche sismiche di un edificio, è necessario che si riscontri la stabilità del manufatto alla liquefazione. La stessa definisce quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Nel caso si manifesti almeno una delle circostanze indicate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa. Di seguito sono indicate le condizioni di riferimento:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g.

Per il calcolo dell'accelerazione massima vanno considerate l'accelerazione di base a_g e l'amplificazione S , data dal prodotto tra l'amplificazione stratigrafica S_s e quella topografica S_t :

$$a_{max} = a_g * S = a_g * S_s * S_t$$

Dagli studi di pericolosità sismica l'accelerazione al suolo è compresa tra 0,025 e 0,050 g, precisamente pari a 0.044 g per lo SLV. Per quanto concerne i fattori di amplificazione, non avendo effettuato indagini geognostiche atte a classificare il sottosuolo del sito, non è possibile verificare con precisione questa condizione. Tuttavia, sulla base di una possibile classificazione C, con topografia piana, S_s ed S_t assumerebbero rispettivamente valori di 1,5 ed 1,0 determinando così una a_{gmax} pari a 0,067 g. Di conseguenza, essendo il valore di a_{max} inferiore a 0.100, la condizione risulta verificata.

2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.

Circostanza non verificata in quanto durante l'esecuzione delle prove penetrometriche è stata rinvenuta la falda ad una profondità mediamente pari ad 1 metro.

3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

La circostanza non risulta verificata in quanto, verificando il valore della resistenza normalizzato $(N_1)_{60}$ per tutte le prove penetrometriche eseguite, risulta essere maggiore del valore soglia di 30 indicato solo per lo strato più profondo di ghiaie e ciottoli con sabbia, mentre ciò non avviene per il superiore strato di sabbia limosa.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura seguente (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nella figura seguente (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Non sono stati prelevati campioni per la ricostruzione delle relative curve granulometriche, di conseguenza questa condizione non è valutabile. Ad ogni modo, la presenza di circa 3 metri di sedimenti generalmente classificabili come sabbie limose richiede grande attenzione, dunque la circostanza non può essere verificata.

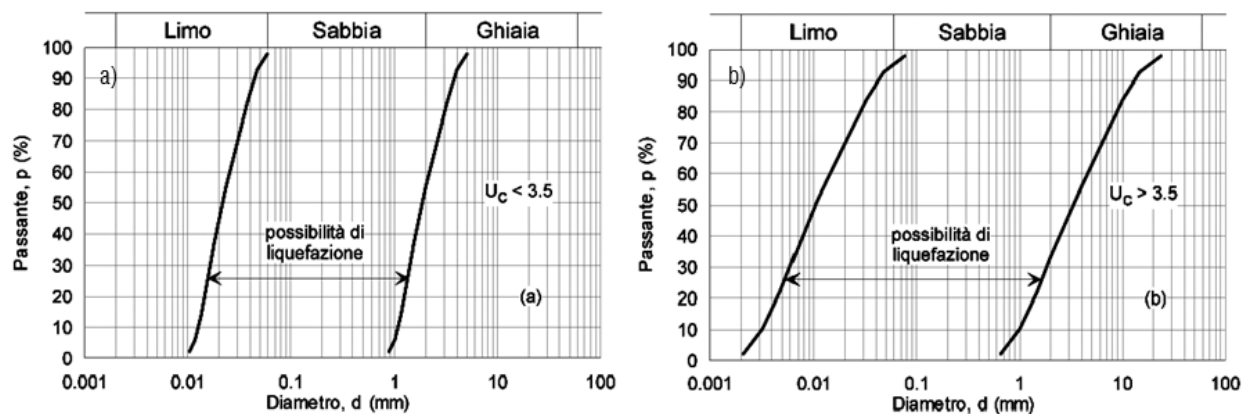


Figura 52 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (NTC2018)

Alla luce di quanto sopra esposto e visto il verificarsi di almeno una delle quattro condizioni indicate dalle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018, la verifica a liquefazione non è necessaria.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento su ortofoto delle aree occupate dal futuro impianto fotovoltaico (Google Earth)	3
Figura 2 – Inquadramento su ortofoto dell'intero progetto (Google Earth)	4
Figura 3 – Dettaglio area Stazione Utente con impianto di accumulo della SSE TERNA	5
Figura 4 – Layout di progetto impianto FV	5
Figura 5 – Schema tettonico della Alpi Occidentali (da Chiesa et al., 1975; Ogniben et al., 1975; Compagnoni & Sandrone, 1979)	6
Figura 6 – Stralcio Carta Geologica d'Italia – Foglio 43 Biella (ISPRA)	7
Figura 7 – Schema dei rapporti stratigrafici, Carta Geologica d'Italia – Foglio 43 Biella (ISPRA)	7
Figura 8 – Schema strutturale della Pianura Padana ed aree adiacenti (modificato da Castellarin et al., 1982)	8
Figura 9 – Carta delle Serie Idrogeologiche del Piemonte (ARPA Piemonte)	10
Figura 10 – Carta delle Serie Idrogeologiche del Piemonte – Sezione schematica 5 (ARPA Piemonte)	11
Figura 11 – Carta delle Serie Idrogeologiche del Piemonte – Sezioni schematiche 6 e 7 (ARPA Piemonte)	11
Figura 12 – Soggiacenza falda superficiale (ARPA Piemonte)	13
Figura 13 – Curve piezometriche (ARPA Piemonte)	14
Figura 14 – Permeabilità terreni (ARPA Piemonte)	14
Figura 15 – Stralcio cartografico Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)	16
Figura 16 – Stratigrafia semplificata pozzo PII20 - Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)	17
Figura 17 – Stratigrafia semplificata pozzo 107.188,00 - Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)	17
Figura 18 – Stratigrafia semplificata pozzo 107.120,00 - Banca Dati Geotecnica (ARPA Piemonte)	18
Figura 19 – Ubicazione indagini geognostiche 2012	21
Figura 20 – Correlazione di De Mello (1971)	23
Figura 21 – Correlazione di Mitchell (1978)	23
Figura 22 – Correlazione di Bolton (1986)	24
Figura 24 – Correlazione di Schmertmann (1977)	24
Figura 24 – Stima di ϕ' da DR per differenti granulometrie secondo Schmertmann (1977)	25
Figura 25 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT1	27
Figura 26 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT1	27
Figura 27 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT2	29
Figura 28 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT2	29
Figura 29 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT3	31
Figura 30 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT3	31
Figura 31 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT4	33
Figura 32 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT4	33
Figura 33 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT5	35
Figura 34 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT5	35
Figura 35 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT6	37
Figura 36 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT6	37
Figura 37 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT7	39
Figura 38 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT7	39

Figura 39 – Sommario risultati prova penetrometriche SPT8.....	41
Figura 40 – Stratigrafia semplificata e parametri geotecnici prova penetrometriche SPT8	41
Figura 41 – Modello geologico – geotecnico	41
Figura 42 – Distribuzione delle intensità massime osservate sul territorio italiano (DBMI15)	42
Figura 43 – Estratto storia sismica comune di Arborio (DBMI15)	42
Figura 44 – Zonazione Sismogenetica ZS9 del territorio italiano (INGV)	43
Figura 45 – Parametri azione sismica in funzione dello Stato Limite	44
Figura 46 – Carta stralcio pericolosità sismica Piemonte con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).....	45
Figura 47 – Pericolosità sismica comune di Ghislarengo con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (INGV).....	45
Figura 48 – Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (fonte: INGV) (1/2)	46
Figura 49 – Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (fonte: INGV) (2/2)	46
Figura 50 – Categorie di sottosuolo per l'utilizzo dell'approccio semplificato (NTC2018)	48
Figura 51 – Condizioni topografiche per l'utilizzo dell'approccio semplificato (NTC2018)	48
Figura 52 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (NTC2018)	50