

Dott. Ing. PAOLO FRANCESCO BERTONI
 Dott. Arch. GIANFRANCO CAMADINI
 Dott. Arch. LUCIA CAMADINI
 Dott. Arch. GIUSEPPE SETTI

collaboratori:
 Ing. FRANCESCO GIACOMO BERTONI
 Geom. ELISABETTA BOSIO
 Geom. MORIS FEDRIGA
 Arch. ANNAMARIA MAGGIOLO

25135 Brescia - Via della Musia, 32
 Tel. 030.3366001 - Fax 030.3362050
 E-mail: segreteria@multiproject.eu

C.F. e P.IVA 02655910988
 Reg. Imprese di Brescia
 REA n. 467803

COMUNE BRESCIA
Provincia di Brescia

COMMITTENTE

H3R.E. SRL
 Via XX Settembre 2/C - 25122 - Brescia (Bs)
 C.F. P.IVA: 04092210980

DESCRIZIONE

AREA DI TRASFORMAZIONE PAV-502
art. 83 NTA PGT VIGENTE EX AREA F.1
VARIANTE AL PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO
 P.L. Via Lucio Riccobelli - Brescia

DATA rev. 0
 Agosto 2020

SCALA
 ===

ALL. N.
VAR.OU.
REL.003

CONTENUTO ALLEGATO

RELAZIONE GEOLOGICA

RISERVATO AGLI UFFICI

IL COMMITTENTE

IL PROGETTISTA

QUESTO DOCUMENTO E' DI PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA MULTIPROJECT ENGINEERING s.r.l.
NESSUNA SUA PARTE PUO' ESSERE UTILIZZATA, RIPRODOTTA O COPIATA SENZA ESPlicita AUTORIZZAZIONE

Comune di Brescia

Provincia di Brescia

Progetto

AREA DI TRASFORMAZIONE PAV-502

Via Lucio Riccobelli – Brescia

Nuova Passerella ciclopedonale

Elaborato

R1 – Relazione geologica ai sensi del D.M. 17.01.2018 NTC

R3 – Relazione geologica ai sensi della DGR IX/2616/2011

A cura di:

Dott. Geol. Claudio LEONCINI



Sommacampagna, settembre 2020

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
4	INTERVENTO IN PROGETTO	6
5	R1 - RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DEL DM 17.01.2018	8
5.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
5.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO	10
5.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE	13
	5.3.1 <i>Indagine e relazione geologica, geotecnica e sismica a supporto del P.A. di via Riccobelli e ai sensi del D.M. 14.01.2008 (Dott.ssa Ziliani - anno 2014).....</i>	13
	5.3.2 <i>Piano attuativo di via Riccobelli Costalunga – Esecuzione di prove di permeabilità in trincea (Dott. Leoncini - anno 2017).....</i>	15
5.4	CARATTERISTICHE GEOLOGICO-GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	20
6	R3 - RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DGR 2616/2011	21
6.1	PIANIFICAZIONE TERRITORIALE.....	21
6.2	ZONAZIONE SISMICA	25
	6.2.1 <i>Azione sismica</i>	26
	6.2.2 <i>Considerazioni sulla categoria di sottosuolo da utilizzare.....</i>	29
	6.2.3 <i>Verifica a liquefazione dei depositi presenti</i>	30
7	CONCLUSIONI	31

1 PREMESSA

La presente relazione, elaborata a supporto del PIANO ATTUATIVO DI VIA LUCIO RICCOBELLI, riguarda la caratterizzazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica dei luoghi sui quali è prevista la realizzazione di una nuova passerella ciclopedonale sul torrente Garzetta, nel territorio comunale di Brescia.

Lo scopo del presente documento è definire il modello geologico del sito, oltre a "costituire un elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici" in ottemperanza al D.M. 17 gennaio 2018 (N.T.C.) che al punto 6.2.1 indica che "la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio."

Inoltre verranno analizzate i vincoli e le criticità di ordine geologico che gravano sul sito in oggetto, come previsto dalla D.G.R. IX/2616/2011.

Il presente studio si avvale degli esiti di studi ed indagini pregresse eseguite nell'area di pertinenza sia dallo scrivente professionista (febbraio 2017) sia dalla Dott.ssa Ziliani (luglio 2014), ai quali si rimanda per una più completa trattazione degli argomenti.

Lo studio si è, pertanto, articolato nei seguenti punti:

- raccolta ed analisi delle Letteratura geologica esistente;
- analisi delle indagini geognostiche eseguite nel sito in oggetto;
- stesura della presente relazione tecnica, che ha fatto riferimento alla necessità di produrre i seguenti documenti:
 - R1 – Relazione geologica ai sensi del D.M. 17.01.2018 NTC
 - R3 – Relazione geologica ai sensi della DGR IX/2616/2011.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella redazione della presente relazione ci si è attenuti alle prescrizioni della Normativa pregressa e vigente, in particolare:

- D.M. LL.PP. 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";
- Circ. Min. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce; la stabilità dei pendii e delle scarpate, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione";
- Circ. Min. LL.PP. 09/01/1996 n. 218/24/3: "Legge 2 febbraio 1974 n. 64. Decreto Min. LL.PP. 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica";
- Ordinanza O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche";
- Ordinanza O.P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006: "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- D. Min. Infrastrutture e trasporti del 14/01/2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)";
- Circ. Min. LL. PP. 2 febbraio 2009 n. 617: "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- D. Min. Infrastrutture e trasporti del 17/01/2018: "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (NTC)";
- D.G.R. 30 novembre 2011 - n. IX/2616;
- D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129;
- D.G.R. 30 marzo 2016 - n. X/5001.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento è attualmente occupata da terreno ineditato, con estensione pari a circa 14.000 m², ubicata tra via Riccobelli e via Val Giudicarie, nel quartiere Costalunga, all'interno del territorio comunale di Brescia, circa 200 m ad Est degli Spedali Civili (Figura 1).

Il terreno del lotto in esame si trova ad una quota di circa 161 m s.l.m.



Figura 1 – Ubicazione del sito di intervento

4 INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di una passerella ciclopedonale che collega l'interno della lottizzazione (Piano Attuativo di Via Riccobelli Costalunga) con Via Val Giudicarie.

La passerella si rende necessaria al fine di consentire l'attraversamento del Torrente Garzetta, che delimita l'area a sud e ad sud-est della lottizzazione. Inoltre, la passerella dovrà oltrepassare una zona la cui superficie topografica dovrà essere riprofilata e ribassata al fine di creare un bacino di laminazione interno alla lottizzazione.

Pertanto, il sostegno della passerella verrà garantito da una spalla in sinistra idrografica del Garzetta e da una seconda spalla da realizzarsi oltre la zona ribassata del bacino di laminazione. In destra idrografica del Garzetta verrà eseguito un setto in elevazione in c.a. per la difesa spondale.



Figura 2 – planimetria piano attuativo

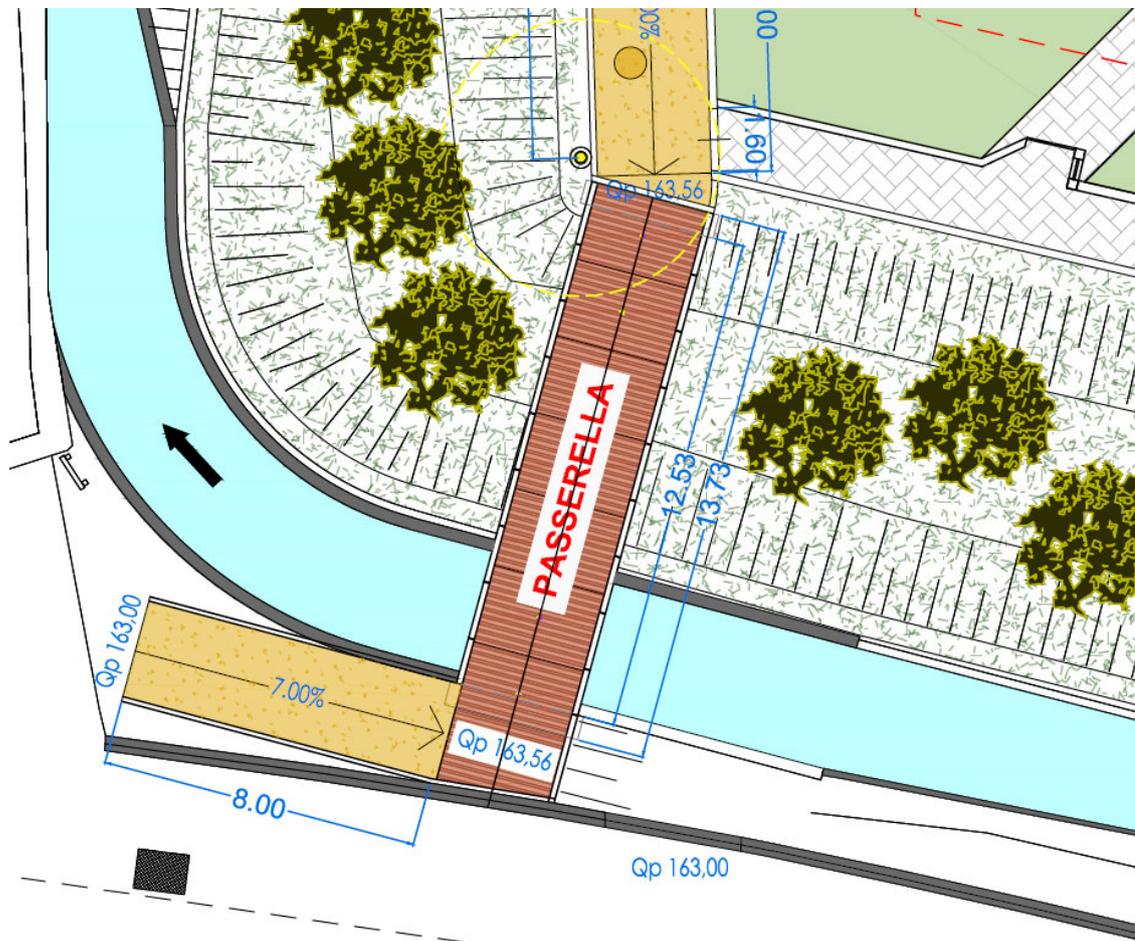


Figura 3 – particolare della passerella in progetto nell'ambito del piano attuativo

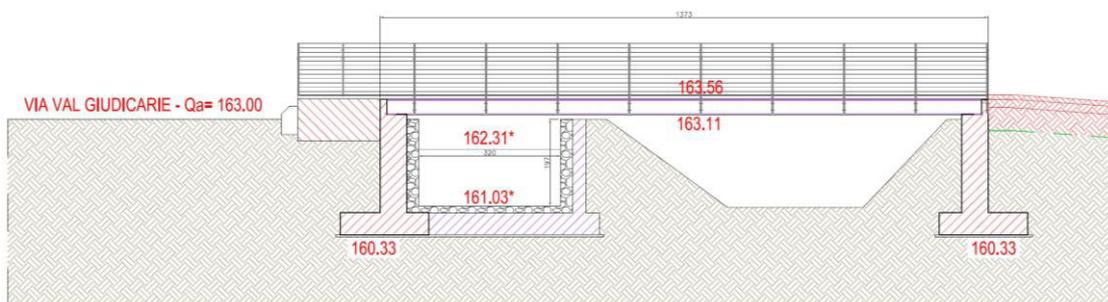


Figura 4 – sezione passerella

5 R1 - RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DEL DM 17.01.2018

5.1 Inquadramento geologico

L'area considerata, si trova a ridosso della zona pedecollinare del territorio bresciano, a pochi chilometri dal punto in cui il Fiume Mella sbocca dalla Val Trompia e scorre nell'alta pianura bresciana costituita, in questa zona, dall'ampio conoide alluvionale creato dalla deposizione del Fiume stesso.

L'area ricade in una porzione del territorio comunale costituita quindi da depositi di pianura, caratterizzati da litologie tipicamente correlabili ad un ambiente di deposizione alluvionale di tipo fluviale e fluvio-glaciale.

Sulla base di quanto indicato dal foglio n. 47 "Brescia" della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000 (Figura 5), e dalla carta allegata al PGT del Comune di Brescia (Figura 6), le litologie dell'area di interesse sono infatti caratterizzate principalmente da alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose e limose con strato di alterazione brunastro di spessore limitato.

Poche centinaia di metri ad Est del sito in studio, sono invece affioranti formazioni rocciose costituite da calcari e calcari marnosi risalenti al Giurassico inferiore, in particolare le formazioni del Calcare di M. Domaro e del Calcare di Gardone Val Trompia.

Nella zona pianeggiante di interesse, al di sotto di un variabile spessore della coltre superficiale limoso-argillosa, legata all'alterazione delle rocce calcaree-marnose costituenti la zona collinare nell'intorno dell'area di intervento, sono quindi riscontrabili variazioni sia verticali che orizzontali nella granulometria dei terreni, i quali sono comunque costituiti da litotipi principalmente grossolani (ghiaie e sabbie), con eventuali lenti costituite da limi ed argille.

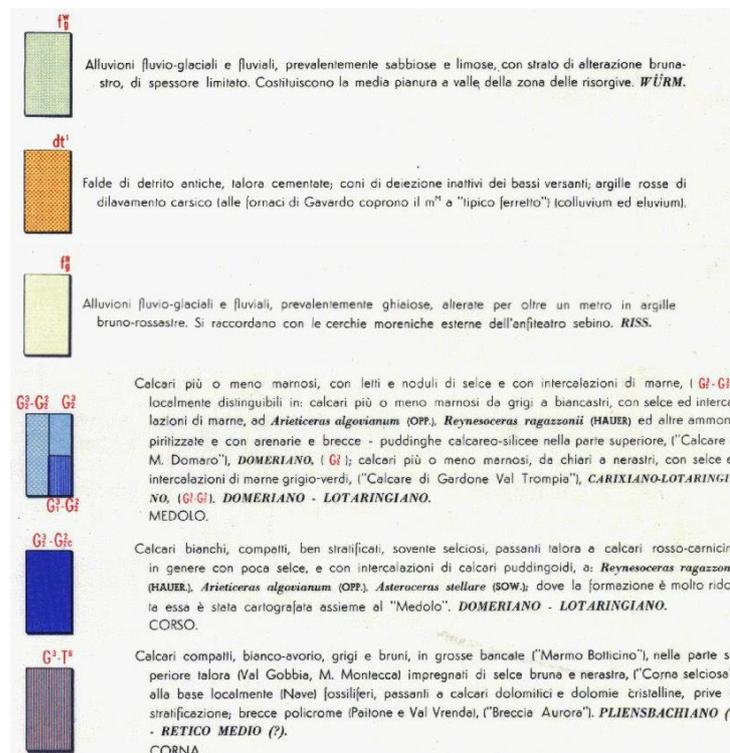
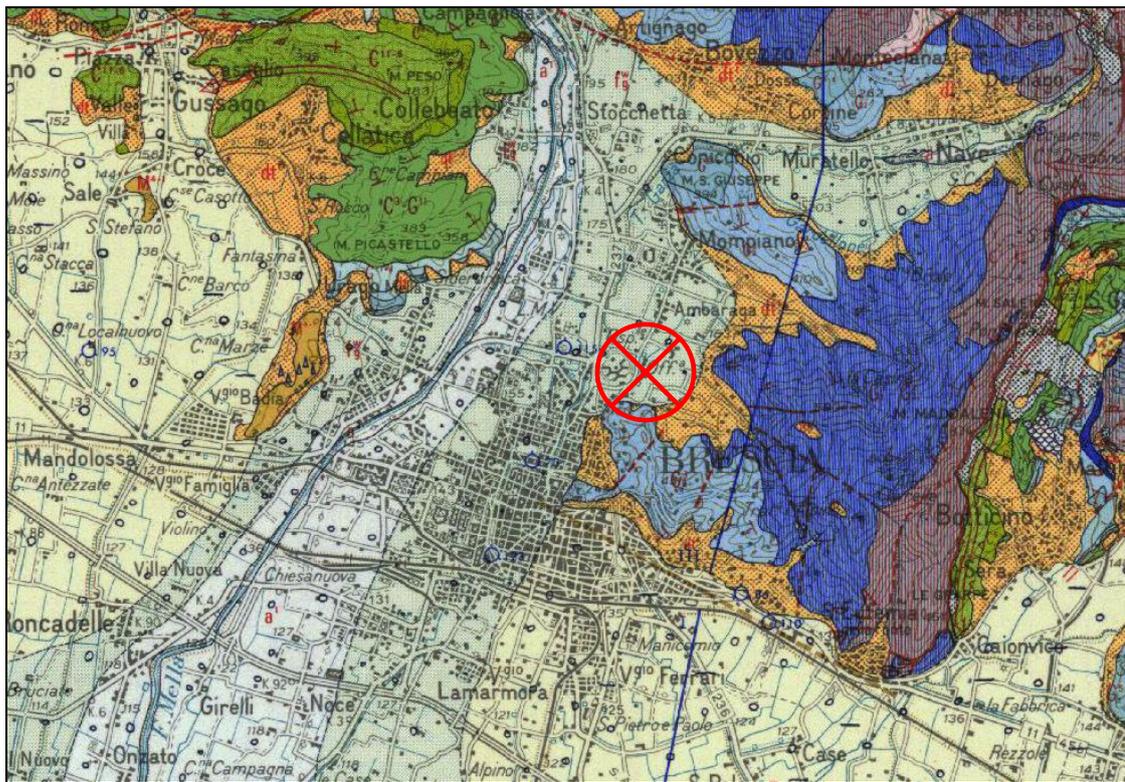


Figura 5 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia, foglio n. 47 "Brescia", scala 1:100.000

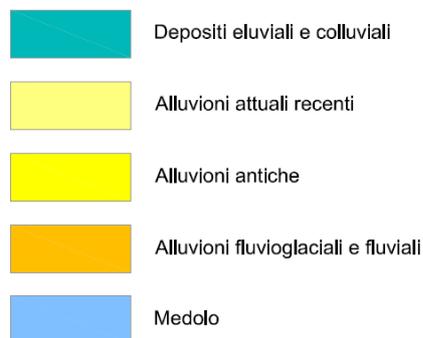


Figura 6 – Stralcio della Tavola n. ALall04a, “Analisi geologico-geostrutturale” allegata al Piano di Governo del Territorio del Comune di Brescia

5.2 Inquadramento idrogeologico e idrografico

Dal punto di vista **idrogeologico**, i depositi alluvionali dell'alta pianura bresciana costituiscono un acquifero indifferenziato, ospitante una falda freatica. Negli strati più superficiali, diversi contributi idrici possono talvolta dare luogo ad una circolazione idrica stagionale e saltuaria, dovuta in particolar modo alle piogge che vengono immagazzinate negli ammassi rocciosi calcarei, molto fratturati, costituenti la zona pedemontana limitrofa ad Est dell'area di studio.

Dalle fratture delle rocce affioranti, le acque possono infatti essere drenate verso il fondovalle, attraverso diversi percorsi preferenziali, dando così luogo, occasionalmente, a falde sospese temporanee.

Secondo quanto riportato nella "Carta dei vincoli legati alla protezione delle risorse idriche", elaborata nel gennaio 2007 dalla Provincia di Brescia (Area ambiente – Settore rifiuti ed energia) per la redazione del Piano Provinciale di Gestione dei Rifiuti, il livello della falda nelle zone di studio è compreso tra i 145 e i 140 m s.l.m.; pertanto, considerato che la quota del p.c. del lotto di interesse è intorno ai 161-163 m s.l.m., la superficie freatica ha una soggiacenza di circa 20 m dal p.c., tale quindi da non interferire in alcun modo con le opere previste dal Piano Attuativo in oggetto.

Il livello della falda freatica è comunque soggetto a variazioni sia di tipo stagionale, sia legate all'utilizzo di pozzi ad uso industriale-commerciale.

La zona rientra inoltre nell'area di ricarica della falda (Figura 7).

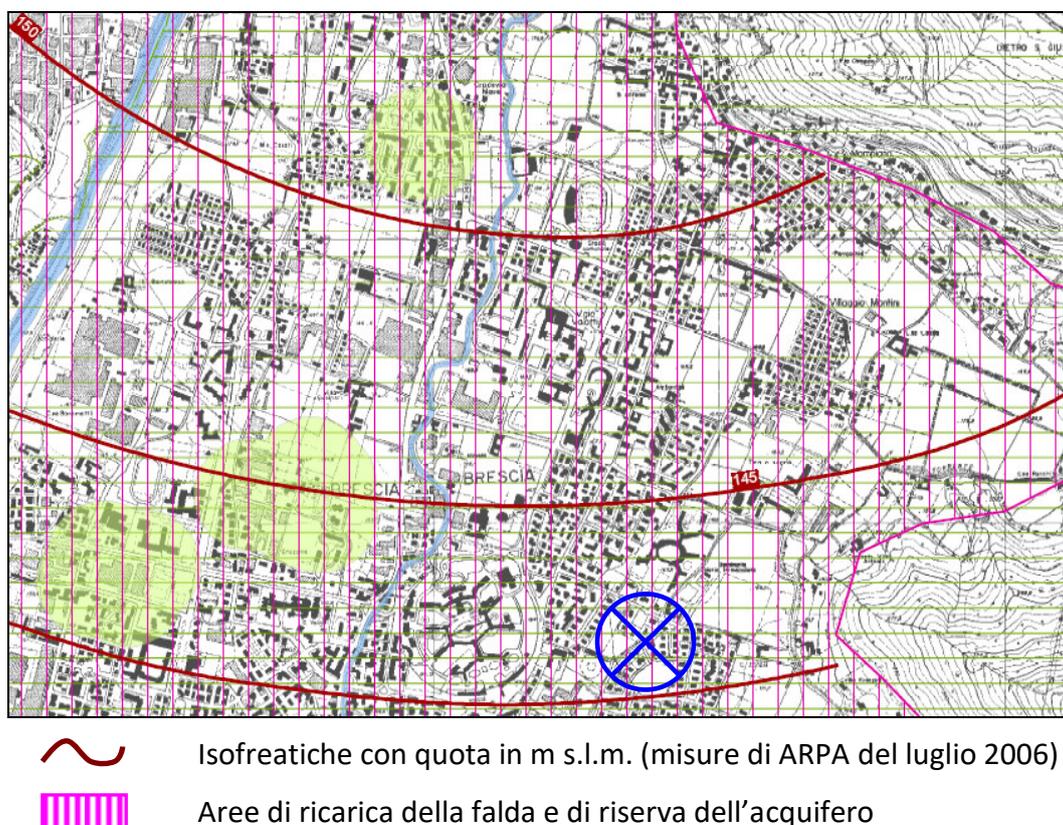


Figura 7 – Stralcio della Carta dei vincoli legati alla protezione delle risorse idriche, per il PPGR (Provincia di Brescia – gennaio 2007), che riporta le quote delle isofreatiche

Dal punto di vista **idrografico**, il corso d'acqua più importante nell'intorno dell'area di studio è rappresentato dal Fiume Mella, che allo sbocco dalla Val Trompia scorre attraverso la pianura fino a sfociare nel Fiume Oglio, attraversando il territorio bresciano e scorrendo a circa 2,5 km ad Ovest del sito in studio.

L'idrografia minore è rappresentata dal Torrente Garza, che scorre in direzione Nord-Sud a circa 800 m ad Ovest della lottizzazione oggetto di intervento, e soprattutto dal Torrente Garzetta di Costalunga, il quale ha origine dalle pendici dei monti calcareo-marnosi presenti ad Est dell'area di interesse, e scorre in direzione principale N\NE-S\SO.

Nella parte finale del suo percorso il torrente è regimato artificialmente, e lambisce i confini meridionali della lottizzazione in oggetto, fino a confluire nel Fiume Celato poco più ad Ovest (Figura 8).

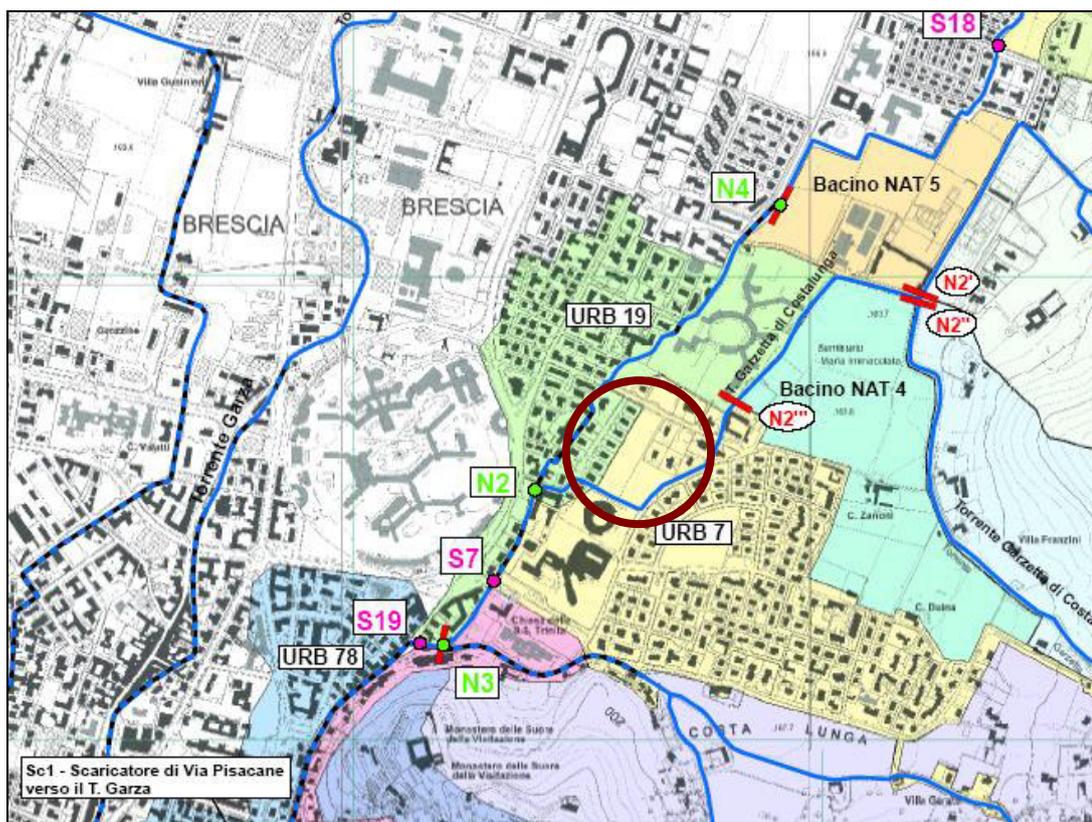


Figura 8 – Stralcio della Carta della rete idrografica e dei bacini, del Comune di Brescia (Settore Verde, Parchi e Reticolo Idrico), scala 1:10.000; nel cerchio, il sito di studio

5.3 Indagini geognostiche pregresse

5.3.1 Indagine e relazione geologica, geotecnica e sismica a supporto del P.A. di via Riccobelli e ai sensi del D.M. 14.01.2008 (Dott.ssa Ziliani - anno 2014)

La campagna geognostica effettuata nell'ambito del suddetto studio ha previsto l'esecuzione di:

- n° 5 prove penetrometriche dinamiche (SCPT);
- n° 1 stendimento sismico con metodologia MASW.

La figura seguente riporta l'ubicazione delle indagini e lo spessore dell'unità più superficiale descritta nei paragrafi seguenti.

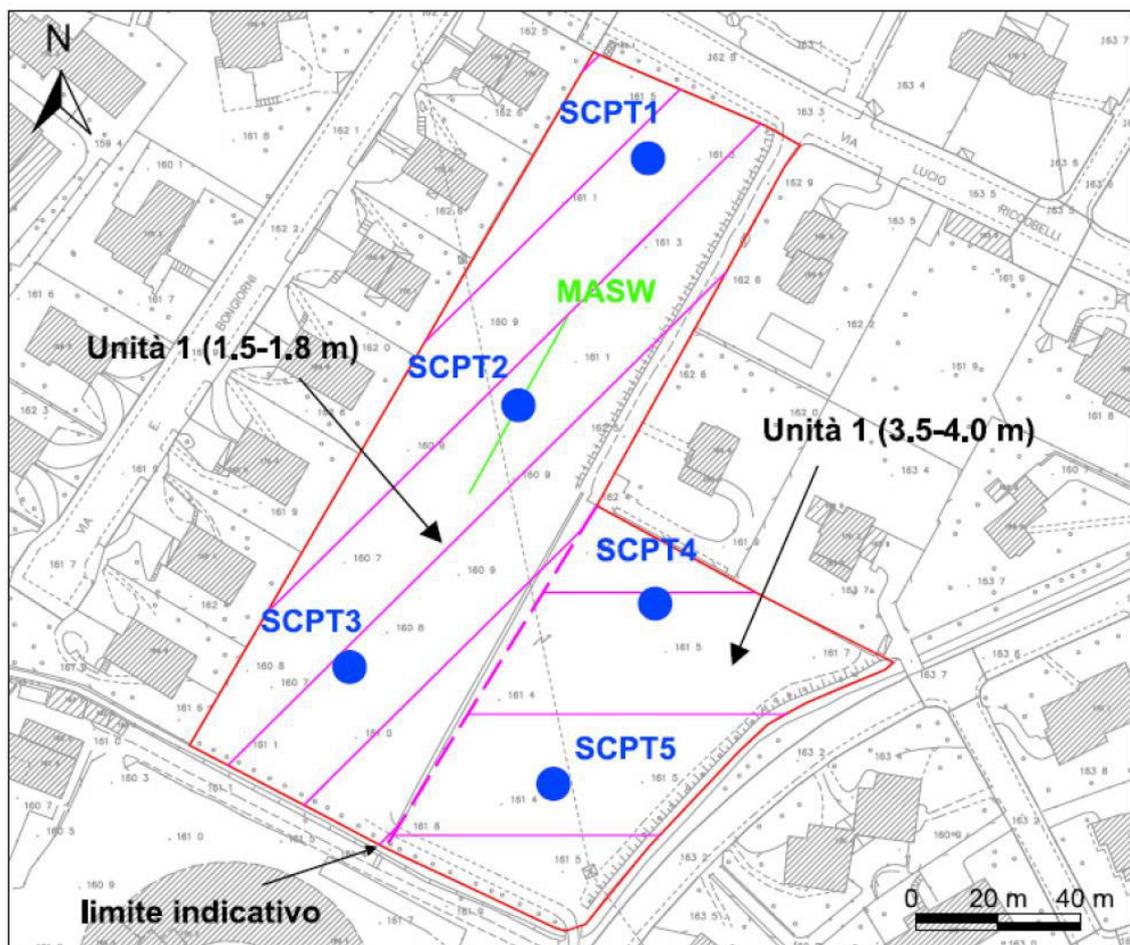


Figura 9 – Ubicazione indagini spessore dell'unità 1 (fonte: Ziliani, 2014)

Prove penetrometriche dinamiche

I risultati delle prove, come sintetizzato dalla dott.ssa Ziliani, "sono risultati correlabili tra di loro" e "...L'andamento delle resistenze alla penetrazione della punta consente di schematizzare il sottosuolo in tre unità:

- **l'unità 1** (superficiale) poco addensata che probabilmente corrisponde alla copertura limoso sabbiosa debolmente argillosa; lo spessore di questa unità aumenta da ovest verso est; lo spessore nelle prove n. 1, 2, 3 è mediamente 1.8, mentre nelle prove n. 4 e 5 è di circa 4 m.
- **l'unità 2** - da circa 1.8 m nella zona ovest e 3.5 /4 m nella zona est fino a 9/10 m di profondità da p.c. in entrambe le zone -; il deposito è moderatamente addensato; si tratta probabilmente di una miscela eterogena di sabbia limosa localmente ghiaiosa o localmente debolmente argillosa.
- **l'unità 3** - da circa 9 m a 12.3 m da p.c.: da poco addensata a moderatamente addensata; si tratta probabilmente di sabbia limoso argillosa debolmente ghiaiosa.

Indagine sismica mediante metodologia MASW

In data 12.06.2014, è stato eseguito n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la procedura tipo MASW, finalizzato alla determinazione sismostratigrafia del sottosuolo e quindi delle $V_{s,30}$.

Di seguito si ripropone la sezione sismostratigrafica schematica indicata nella succitata relazione.

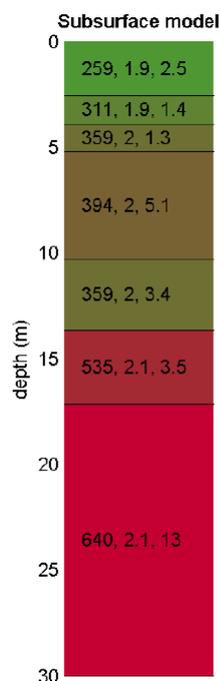


Figura 10 – sismostratigrafia schematica (fonte: Ziliani, 2014)

5.3.2 Piano attuativo di via Riccobelli Costalunga – Esecuzione di prove di permeabilità in trincea (Dott. Leoncini - anno 2017)

In data 14 febbraio 2017 sono state realizzate n. 4 trincee esplorative mediante escavatore meccanico, col fine di prendere visione diretta delle litologie costituenti il sottosuolo, e contestualmente eseguire delle prove di permeabilità in sito, in corrispondenza del luogo dove saranno ubicati i sistemi di dispersione delle acque meteoriche dei nuovi insediamenti residenziali previsti.

Nel seguito riportiamo sinteticamente le caratteristiche delle trincee realizzate e l'ubicazione delle stesse nell'area del lotto di intervento (Figura 11):

Trincea n.	Latitudine WGS 84	Longitudine WGS 84	Altitudine m s.l.m.	Profondità m da p.c.	Prove di permeabilità
T 1	45.557640	10.237773	163	3,50	1
T 2	45.557278	10.237661	163	3,70	2
T 3	45.556709	10.237114	163	3,60	1
T 4	45.556895	10.237914	163	4,60	1

Tabella 1 – Caratteristiche principali delle trincee

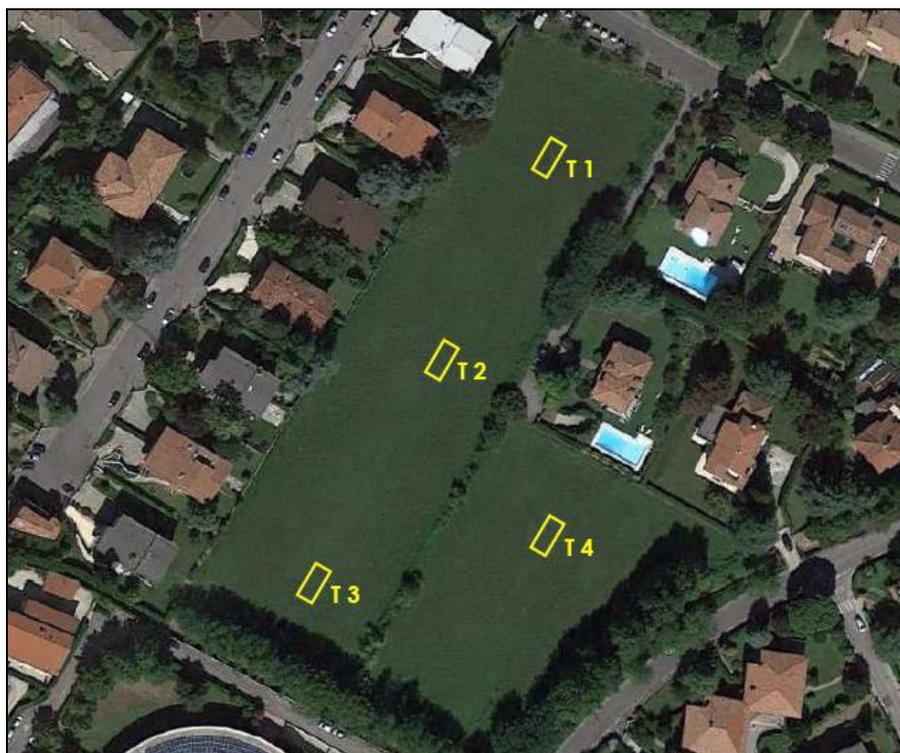


Figura 11 – Ubicazione delle trincee realizzate

I terreni affioranti nell'area in studio sono rappresentati da depositi alluvionali; la stratigrafia generale del lotto indagato può essere riassunta come segue, a partire dal piano campagna:

- suolo con terreno vegetale limoso-argilloso con spessore di 20-30 cm;
- limi-argillosi debolmente sabbiosi con spessore variabile tra 2 m e 3 m;
- ghiaia e ciottoli di origine alluvionale addensati in abbondante matrice sabbioso-limosa con spessore variabile da 1 m fino a 2 m;
- ghiaia granulare e ciottoli in matrice sabbiosa, di origine alluvionale, fino alla massima profondità investigata dalle trincee eseguite.

Nella figura successiva sono riportate due sezioni geologiche rappresentative del modello geologico locale del sito, ricostruite sulla base delle informazioni stratigrafiche riscontrate. Nella rappresentazione schematica, non sono stati considerati i reali valori delle quote del piano campagna, comunque ininfluente.

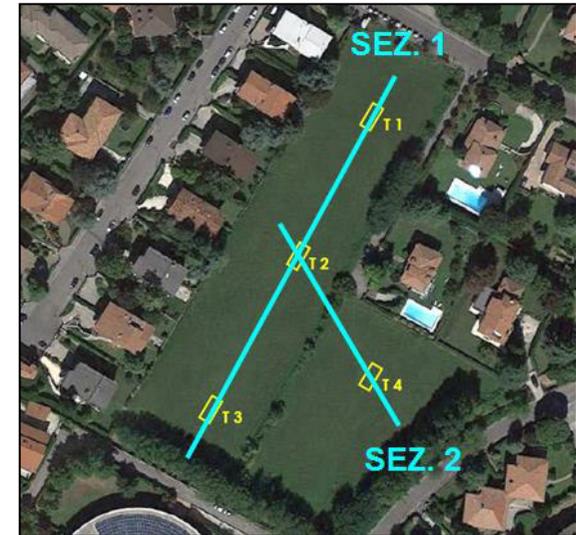
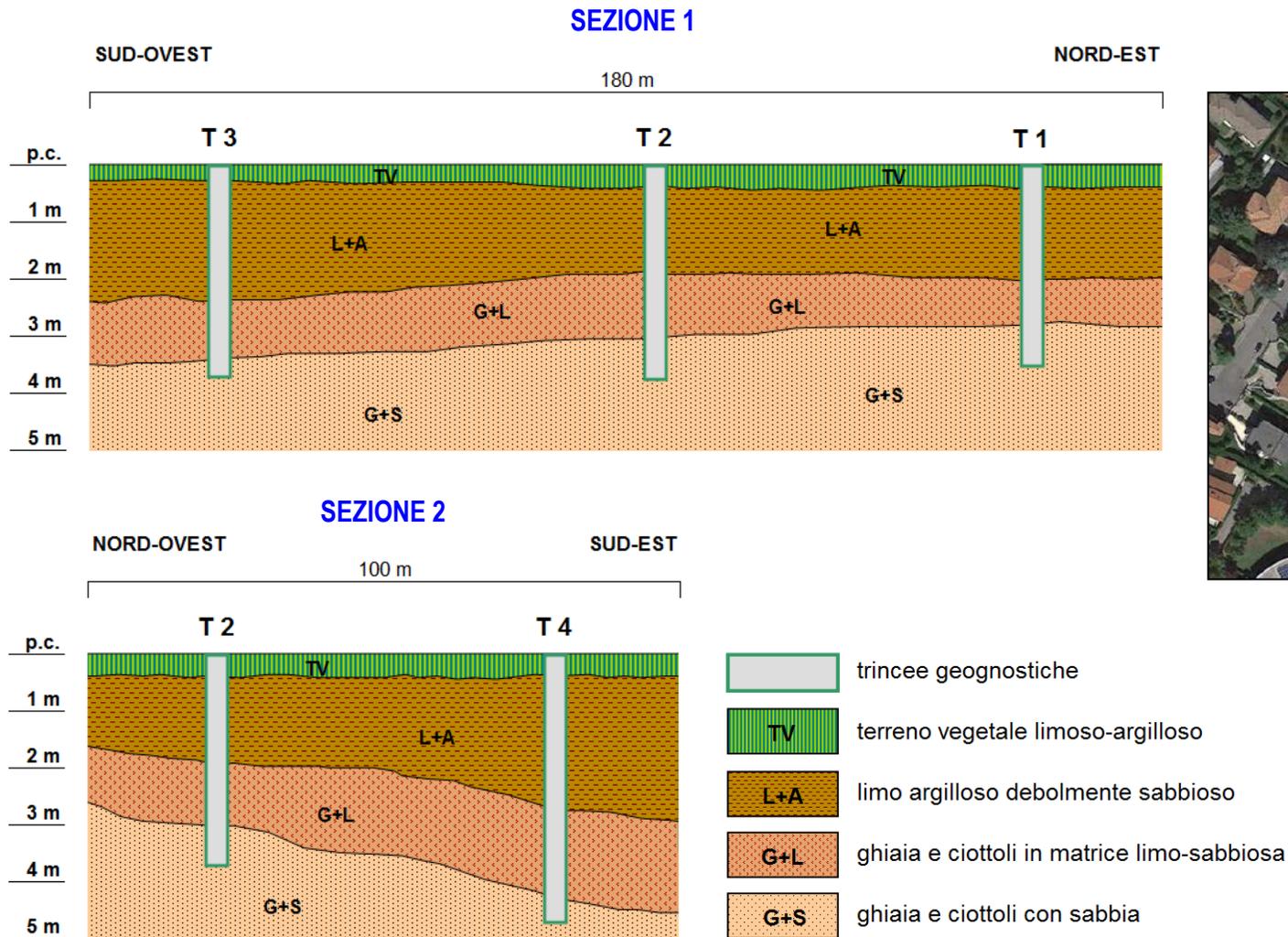


Figura 12 – Sezioni geologiche rappresentative (quote del piano campagna non considerate)

Prove di permeabilità in trincea

L'indagine svolta ha consentito l'esecuzione di alcune prove di permeabilità negli scavi di trincea (prove in pozzetto superficiale), al fine di valutare il coefficiente di permeabilità (K) dei terreni.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dall'elaborazione delle n. 5 prove di permeabilità eseguite. Si rimanda alla relazione originale per una trattazione completa dell'argomento.

Trincea	Prova n.	Prof. di prova (m da p.c.)	K (m/s)	Litologia
T1	1	1,05 m	$2,8 * 10^{-5}$	Limi argillosi
T2	1	1,30 m	$7,7 * 10^{-6}$	Limi argillosi
	2*	3,70 m	n.d.	Ghiaie con sabbia
T3	1	3,60 m	$1,0 * 10^{-5}$	Ghiaie con sabbia
T4	1	4,60 m	$1,5 * 10^{-5}$	Ghiaie con sabbia

Tabella 2 – Risultati delle prove di permeabilità in trincea

(*) Nota: non è stato possibile ottenere i dati durante la seconda prova nella trincea T2 in quanto la quantità di acqua immessa, si è infiltrata nei depositi ghiaiosi in poche decine di secondi, e non è stato pertanto possibile creare un battente d'acqua misurabile. Tale condizione è, comunque, indice di **permeabilità elevata** dei materiali presenti sul fondo della trincea, alla quota di 3,7 m dal p.c. circostante.

k (cm/s)	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		

Tabella 3 – Valori e classi di permeabilità associati a diversi tipi di litologie

Confrontando i dati ottenuti nelle prove eseguite nelle trincee con la soprastante Tabella 3, nella quale sono classificati i terreni in base al coefficiente di permeabilità K, è possibile attribuire ai materiali entro i quali sono state effettuate le prove le seguenti classi di permeabilità:

- ✓ in T1, i terreni testati corrispondono ad una **classe di permeabilità tra Bassa e Discreta;**
- ✓ in T2, i terreni testati con la prima prova di permeabilità corrispondono ad una **classe di permeabilità Bassa;**
- ✓ in T2, come descritto in precedenza, con la seconda prova non è stato possibile eseguire una lettura dei dati di permeabilità a causa della elevata velocità di infiltrazione dell'acqua nei depositi ghiaiosi, pertanto i terreni testati possono essere attribuiti ad una **classe di permeabilità Elevata;**
- ✓ in T3, i terreni testati corrispondono ad una **classe di permeabilità tra Bassa e Discreta;**
- ✓ in T4, infine, i terreni testati corrispondono ad una **classe di permeabilità tra Bassa e Discreta.**

5.4 Caratteristiche geologico-geotecniche dei terreni

La modellazione geologica e geotecnica si basa sull'analisi critica dei risultati conseguiti mediante gli studi precedentemente descritti.

La discretizzazione geotecnica del sottosuolo farà riferimento alla proposta già indicata dalla Dott.ssa Ziliani, che individua 3 differenti unità geotecniche ritenute omogenee. Per quanto riguarda gli spessori, peraltro molto indicativi come osservato nelle trincee esplorative, si fa particolare riferimento alla prova SCPT5 e, subordinatamente, alla SCPT4.

Unità	Prof. (m)	Litologia	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	E (MPa)
1	0,0 – 3,5÷4,0	Limo sabbioso debolmente argilloso	16	28	5,5
2	3,5÷4,0 – 9,0÷10,0	Sabbia limosa localmente ghiaiosa o localmente debolmente argillosa	19	31	11
3	9,0÷10,0 – 12,3	Sabbia limoso argillosa inglobante ghiaia	17	31	7,8

Tabella 4 – valori caratteristici

La falda freatica è, come già ricordato, posta a profondità tali da non interferire con la fondazione dell'opera. Tuttavia il lavoro della Dott.ssa Ziliani "segnala la probabile presenza di una modesta falda superficiale a circa 9 m da p.c. (si sono rilevate aste di prova umide) Questa falda potrebbe essere sostenuta dall'unità 3".

6 R3 - RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DGR 2616/2011

6.1 Pianificazione territoriale

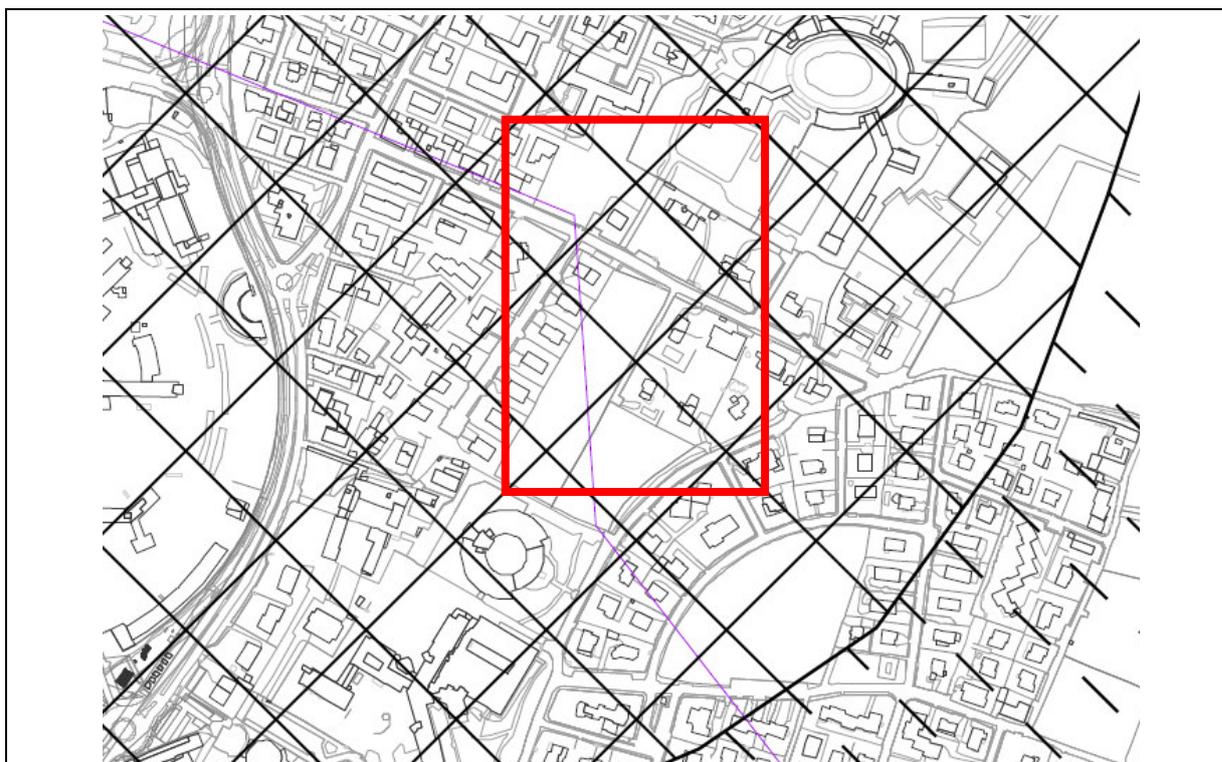
La fattibilità geologica sintetizza le penalità ai fini edificatori in rapporto alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area, anche in considerazione dei dissesti in atto e potenziali. Tale tematismo è contenuto nella **Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano** (Gasparetti & Quassoli, 2016) allegata al PGT del Comune di Brescia (Figura 13).

L'area di intervento rientra in una classe di fattibilità **Classe 1a**, che rappresenta un'area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche..”.

All'interno della suddetta carta è riportato, inoltre, il tematismo relativo alla Pericolosità Sismica Locale (PSL). Il sito in esame rientra in una zona PSL **Z4a**: zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi. Come specificato in legenda, in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra **0,1 e 0,5 s**, è prevista **l'applicazione diretta del terzo livello** per la quantificazione degli effetti di amplificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 – All. 5, §2.3.3) o **l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C** (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 – All. 5 § 2.2.2).

Questo perché il valore di F_a determinato nello studio di pericolosità sismica del territorio è risultato maggiore del valore di soglia comunale per la categoria di sottosuolo individuata (nel nostro caso la categoria B) per periodo proprio compreso tra 0,1 e 0,5 s.

Per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra **0,5 e 1,5 s** lo spettro di norma della categoria individuata risulta invece sufficiente.



LEGENDA

CLASSE 1 – FATTIBILITÀ SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI



Classe 1a

Area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche (ad esclusione delle zone subpianeggianti poste al margine dei rilievi dove negli strati superficiali del terreno, di natura colluviale, si possono frequentemente riscontrare orizzonti litologici dalle scadenti caratteristiche geotecniche o le zone che sono state oggetto di ritombamento con materiali limoso-terrosi ecc.).

SISMICITÀ DEL TERRITORIO

Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.



Z4a - Categoria di sottosuolo identificata B: in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

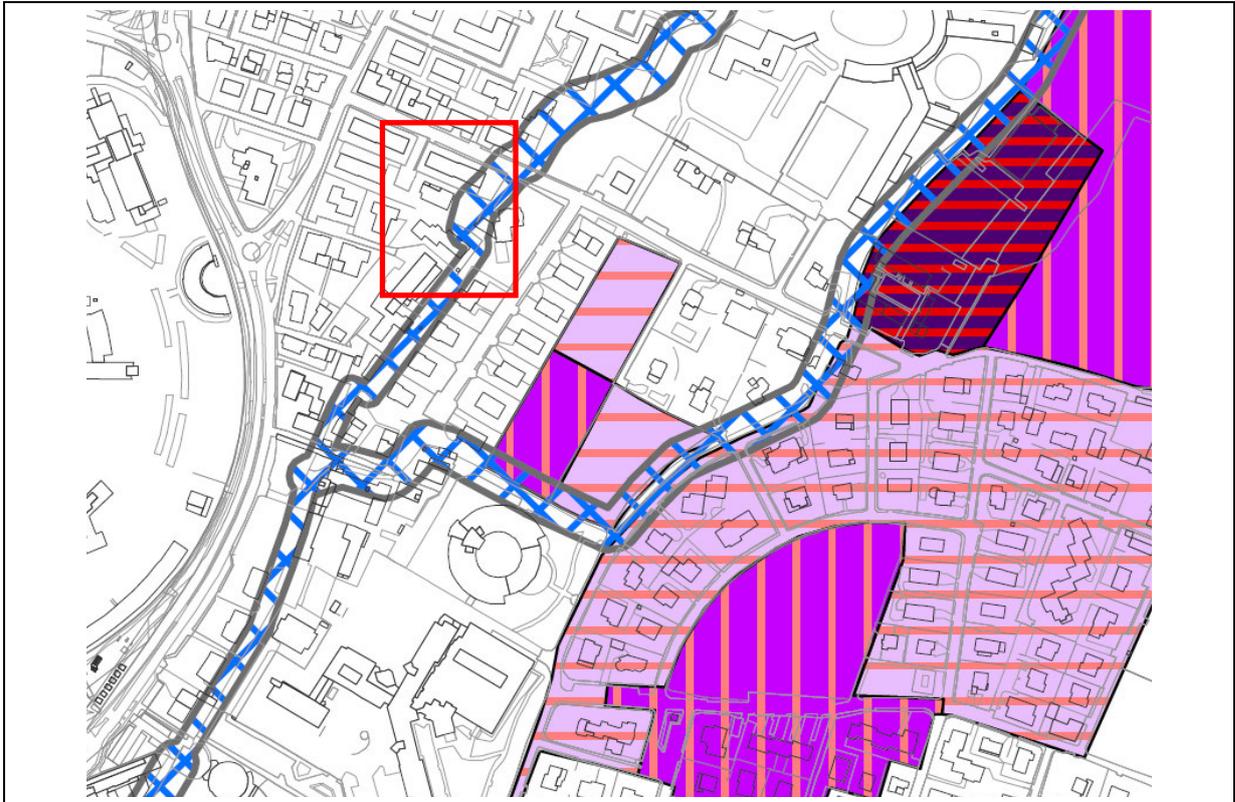
Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale.



Z4b - Categorie di sottosuolo identificate C - D - E: in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, si dovrà procedere come segue:

- nel caso in cui l'indagine geologica-geotecnica prevista dalla normativa nazionale identifichi la presenza di terreni riferibili alle categorie di sottosuolo D o E sarà sufficiente utilizzare lo spettro di norma caratteristico della rispettiva categoria di sottosuolo (D.M. 14 gennaio 2008).
- nel caso in cui l'indagine geologica-geotecnica prevista dalla normativa nazionale identifichi la presenza di terreni riferibili alla categoria di sottosuolo C è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo D (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

Figura 13 - Stralcio della Carta di Fattibilità del PGT di Brescia



LEGENDA

Pianificazione di Bacino (ai sensi della Legge n. 183/89)

Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:

- Area a pericolosità molto elevata (Ee)
- Area a pericolosità elevata (Eb)
- Area a pericolosità media o moderata (Em)

Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PRGA) approvato con DPCM 27.10.2016

Ambito Territoriale RSCM

- Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H)
- Aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M)
- Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (aree P1/L)

Vincoli di polizia idraulica – Fasce di rispetto dei corpi idrici

- Reticolo minore

Figura 14 - Stralcio della Carta dei Vincoli del PGT di Brescia

Dall'analisi, infine, della **Carta dei Vincoli** (Gasparetti, Quassoli, Rossi, 2018) del PGT di Brescia (di cui si riporta stralcio in Figura 14), ossia la tavola ricognitiva di tutti i vincoli gravanti sul territorio derivanti da leggi nazionali e regionali, si evince che l'area in oggetto è posta all'interno di zone aventi **pericolosità da media o moderata a elevata** per quanto riguarda "esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua" (Pianificazione di Bacino ai sensi della Legge n. 183/89) e in **aree potenzialmente interessate da alluvioni da rare a poco frequenti** (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PRGA) approvato con DPCM 27.10.2016).

Inoltre, il sito è inserito all'interno della *fascia di rispetto dei corpi idrici* per quanto riguarda i vincoli di polizia idraulica del *reticolo minore*.

6.2 Zonazione sismica

La OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 dispone l'utilizzo di una nuova "mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (All 1.b), la quale individua n.12 fasce definite da un range di valori delle accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona viene individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi.

Secondo tale normativa, il territorio comunale di Brescia si colloca entro la fascia caratterizzata da valori di a_g/g compresi tra 0,125 e 0,175.

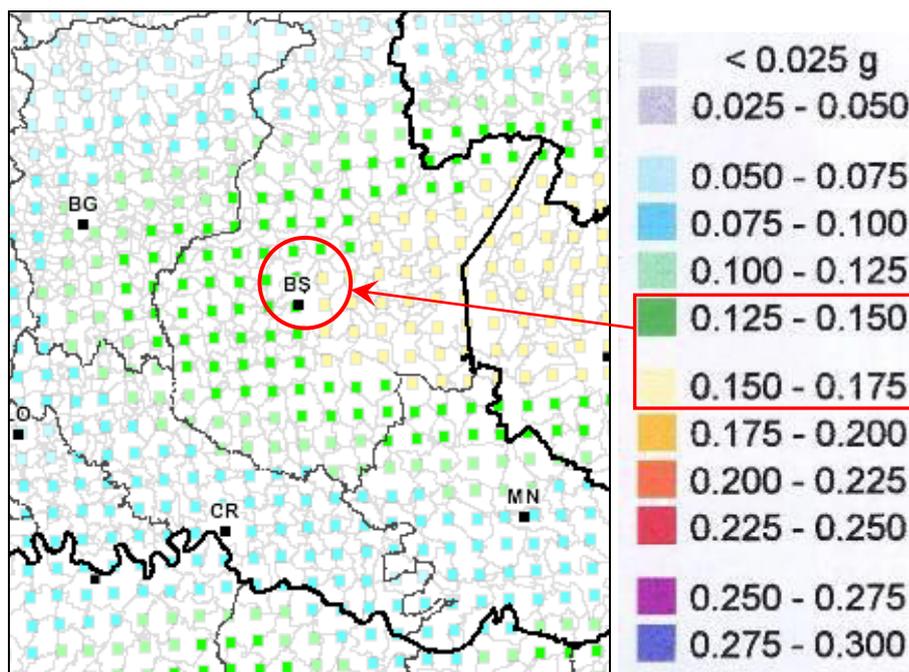


Figura 15 - Stralcio della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi

Per quanto riguarda la **caratterizzazione sismica dell'area in esame**, dall'analisi della "Pericolosità Sismica Locale" allegata al PGT, come riportato anche nel precedente paragrafo, il sito di interesse rientra in una **zona PSL (Pericolosità Sismica Locale) Z4a: zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi**

alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi, soggetta quindi a potenziali amplificazioni litologiche ed amplificazioni geometriche.

La D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) – propone una nuova classificazione sismica del territorio regionale *coerente con le specificità del territorio lombardo, anche in considerazione della presenza di aree fortemente antropizzate e del patrimonio storico esistente, nonché con la classificazione delle Regioni confinanti*". Inoltre *".... sebbene non interferisca nella determinazione dell'azione sismica in sede progettuale costituisce, comunque, elemento di riferimento tecnico-amministrativo per la stima delle aree territoriali graduate per pericolosità sismica"*.

Infine dispone che *"i Comuni riclassificati aggiornino la componente sismica degli studi geologici di supporto agli strumenti urbanistici"*.

In tale contesto normativo, il Comune di Brescia viene riclassificato nella Zona Sismica 2 con AgMax pari a 0.154219.

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03017029	BS	BRESCIA	2	0,154219

Tabella 5 - Estratto dell'ALLEGATO A della D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 - ELENCO DEI COMUNI CON INDICAZIONE DELLE RELATIVE ZONE SISMICHE E DELL'ACCELERAZIONE MASSIMA (AGMAX) PRESENTE ALL'INTERNO DEL TERRITORIO COMUNALE

6.2.1 Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, utilizzate nelle verifiche agli stati limite, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g ed è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo, in detto sito, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari al valore prefissato. Nell'intento di definire in modo puntuale la pericolosità sismica, le NTC fanno riferimento a n. 4 stati limite per l'azione sismica, ognuno definito da una "probabilità di eccedenza del periodo di riferimento" PVR e da un periodo di ritorno TR, espresso in anni.

Si fa riferimento quindi ai seguenti stati limite:

Stati Limite di Esercizio SLE	Stato Limite di immediata operatività	SLO
	Stato Limite di Danno	SLD
Stati Limite Ultimi SLU	Stato Limite di Salvaguardi della Vita	SLV
	Stato Limite di prevenzione del Collasso	SLC

Tabella 6 – Stati limite

Il valore di a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornito dallo INGV (Istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia), per ogni sito, in base alla strategia di progettazione scelta per la singola costruzione.

Nel seguito si schematizzano i presunti parametri di progetto relativi all'opera in oggetto, che determinano il valore dell'azione sismica espressa in termini di accelerazione massima attesa a_g .

Latitudine sito *	45,55730
Longitudine sito *	10,23884
Vita nominale V_N	50 anni
Classe d'uso	II
Periodo di riferimento V_R	50 anni
Periodo di ritorno T_R con $P_{VR} = 81\%$ (SLO)	30 anni
Periodo di ritorno T_R con $P_{VR} = 63\%$ (SLD)	50 anni
Periodo di ritorno T_R con $P_{VR} = 10\%$ (SLV)	475 anni
Periodo di ritorno T_R con $P_{VR} = 5\%$ (SLC)	975 anni

(*) coordinate espresse nel sistema ED50

Tabella 7 – Parametri di progetto

Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R = 475$ anni), il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta – ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, mediante interpolazione per media ponderata, individua la pericolosità sismica del sito di intervento con un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s pari a **0,149 g**.

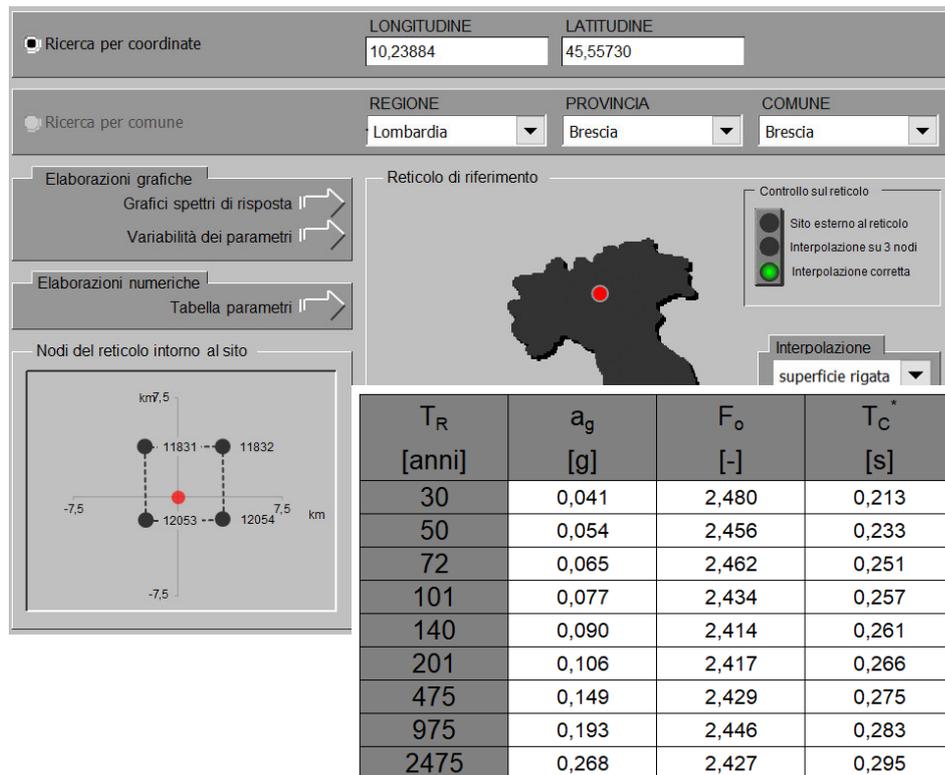


Figura 16 - Pericolosità di base del sito di intervento

Dove: T_R = periodo di ritorno;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa;

F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale ed ha valore minimo pari a 2.2;

T_c = è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata, una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura.

6.2.2 Considerazioni sulla categoria di sottosuolo da utilizzare

Come già descritto in un precedente paragrafo, **l'area in oggetto è stata indagata**, dal punto di vista geofisico, **mediante n. 1 stendimento di sismica MASW**, al fine di determinare il valore delle $V_{s,30}$ sito-specifiche.

Il calcolo delle $V_{s,30}$, effettuato a partire da p.c., ha dato come risultato un valore di $V_{s,30} = 448$ m/s che permette di attribuire il sito in esame alla categoria di sottosuolo di tipo B (DM 14.01.2008 e successivo aggiornamento del DM 17.01.2018).

Ricadendo l'area in oggetto all'interno di uno scenario suscettibile di amplificazione sismica litologica (Z4) è stata applicata la procedura di 2° livello secondo la metodologia della Regione Lombardia (Allegato 5 della D.G.R. n° 9/2616 del 30.11.2011).

Questa procedura di verifica fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa) da confrontare con il valore soglia (Soglia norma) fornito dalla Regione Lombardia per il Comune di Brescia per la categoria di sottosuolo B.

Il confronto mostra che i valori ottenuti siano inferiori ai valori soglia, tenendo conto della tolleranza +/- 0,1 per l'intervallo di periodo 0.1 – 0.5 s, per cui **si può confermare la categoria di sottosuolo B** e l'utilizzo del relativo spettro di norma caratteristico.

Di opposto avviso è invece la già citata **Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano** (Gasparetti & Quassoli, 2016) allegata al PGT del Comune di Brescia (paragrafo 6.1, Figura 13), dove sono contenuti i tematismi relativi alla Pericolosità Sismica Locale (PSL); in essa si specifica che “... per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra **0,1 e 0,5 s**, è prevista **l'applicazione diretta del terzo livello** per la quantificazione degli effetti di amplificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 – All. 5, §2.3.3) o **l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C** (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 – All. 5 § 2.2.2)”.

Quindi, pur ritenendo il dettaglio proposto dalla Dott.ssa Ziliani maggiormente esaustivo per la definizione delle caratteristiche di risposta sismica dell'area in oggetto, la pianificazione territoriale vigente, approvata in data successiva allo studio della Ziliani, risulta vincolante nella definizione delle procedure da adottare.

Pertanto, in considerazione di un profilo stratigrafico afferibile alla categoria di tipo B, qualora la tipologia edilizia in oggetto sia compresa tra **0,1 e 0,5 s**, si dovrà prevedere l'applicazione diretta del terzo livello o **l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C**.

Per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra **0,5 e 1,5 s** lo spettro di norma della categoria individuata risulta invece sufficiente.

Per quanto riguarda, infine, le condizioni topografiche del sito, per configurazioni superficiali semplici, i luoghi in esame ricadono entro la **categoria T1**.

6.2.3 Verifica a liquefazione dei depositi presenti

La presenza di una falda freatica a profondità maggiori di 15-20 m da p.c. permette di escludere la possibilità d'innescio del fenomeno della liquefazione dei terreni.

7 CONCLUSIONI

Con riferimento all'intervento in progetto ed alla luce delle indagini pregresse e delle notizie di ordine geologico disponibili, si ritiene di poter esprimere le seguenti considerazioni:

- nel sito in studio, al di sotto di un variabile spessore della coltre superficiale limoso-argillosa, sono riscontrabili variazioni sia verticali che orizzontali nella granulometria dei terreni, comunque costituiti da litotipi principalmente grossolani (ghiaie e sabbie), con eventuali lenti di limi ed argille;
- la **Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano** attribuisce l'area in oggetto alla **Classe 1a**, che rappresenta un'area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche..";
- dall'analisi della **Carta dei Vincoli** si evince che l'area in oggetto è posta all'interno di aree aventi **pericolosità da media o moderata a elevata** per quanto riguarda "esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua" e in **aree potenzialmente interessate da alluvioni da rare a poco frequenti**. Inoltre è inserita all'interno della fascia di rispetto dei corpi idrici per quanto riguarda i vincoli di polizia idraulica del reticolo minore;
- Le prove di permeabilità hanno evidenziato la presenza diffusa di depositi con litologie a permeabilità da discreta a bassa, sia superficialmente, nel primo metro e mezzo dal piano campagna (terreni limoso-argillosi di copertura), sia più in profondità, indicativamente tra i 3,5 m ed i 5 m dal piano campagna (depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi). Solamente i depositi fluvioglaciali ghiaiosi testati in profondità (trincea T2), hanno evidenziato una classe di permeabilità elevata.

- la pericolosità sismica del sito di intervento è definita da un valore di a_g riferito a suoli rigidi (caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s) pari a **0,149 g**, per tempi di ritorno $TR = 475$ anni (SLV);
- per le ragioni espresse in relazione, pur in presenza di un profilo stratigrafico afferibile alla **categoria di tipo B**, qualora la tipologia edilizia in oggetto sia compresa tra **0,1 e 0,5 s**, si dovrà prevedere l'applicazione diretta del terzo livello o **l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C**.
- la presenza di una falda freatica a profondità maggiori di 15-20 m da p.c. permette di escludere la possibilità d'innescio del fenomeno della liquefazione dei terreni.

Sommacampagna, settembre 2020

Dott. Geol. Claudio Leoncini



REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI BRESCIA

**INDAGINE E RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E
SISMICA A SUPPORTO DEL PIANO ATTUATIVO IN VIA
RICCOBELLI E AI SENSI DEL D.M. 14 GENNAIO 2008**

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	5
	2.1. Caratteristiche geomorfologiche	5
	2.2. Caratteristiche idrogeologiche	6
	2.3. Fattibilità geologica e inquadramento sismico.....	7
3.	INDAGINI IN SITO	8
	3.1. Prove penetrometriche dinamiche	8
	3.2. Indagine sismica mediante metodologia MASW	9
	3.2.1. Acquisizione dati.....	9
4.	INQUADRAMENTO SISMICO E COEFFICIENTI SISMICI [N.T.C.] DI SITO	12
	4.1. Valutazione dell'amplificazione sismica locale - Applicazione della procedura di 2° livello (Allegato 5 della D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011)	14
	4.2. Coefficienti sismici [N.T.C.] di sito.....	15
	4.1. Verifica a liquefazione dei depositi presenti	15
5.	MODELLO GEOTECNICO	16
6.	STIMA DELLA CAPACITA' PORTANTE	18

7.	STIMA DEI CEDIMENTI.....	21
7.1.	Considerazioni generali	23
7.2.	Stima del coefficiente di sottofondazione k_{vm}	24
8.	CONCLUSIONI	26

1. PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati di una indagine geognostica e sismica eseguita a supporto del Piano Attuativo (P.A.) di via Riccobelli che nell'ambito del PGT vigente prevede la realizzazione di nuovi edifici residenziali.

L'indagine ha previsto l'esecuzione di cinque prove penetrometriche dinamiche e di uno stendimento sismico con metodologia MASW (v. fig. 3).

Il presente lavoro è stato quindi così articolato:

- inquadramento geologico generale sulla litostratigrafia e ed idrogeologia dell'ambito territoriale in cui ricade la zona in esame al fine di inquadrare la situazione locale nel contesto geologico generale del territorio comunale di Brescia (cap. 2);
- descrizione delle indagini geognostiche effettuate nell'ambito del presente lavoro (cap.3)
- inquadramento sismico e coefficienti sismici sito specifici (cap. 4)
- modello geotecnico del sottosuolo (cap. 5);
- stima della capacità portante del terreno per fondazioni dirette secondo le tensioni ammissibili e gli stati limite ultimi (cap. 6);
- stima dei cedimenti delle fondazioni dirette (cap. 7);
- conclusioni (cap. 8).

Ulteriori informazioni sono state tratte da:

- VERCESI P.L. (1996) - Studio geologico del comune di Brescia - Revisione del P.R.G. e successivi adeguamenti, Committente: Amministrazione Comunale di Brescia.

Il quadro normativo che in linea generale è stato tenuto presente è il seguente:

- D.M. 14 gennaio 2008 Ministero delle Infrastrutture e trasporti "Norme tecniche per le costruzioni".

- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

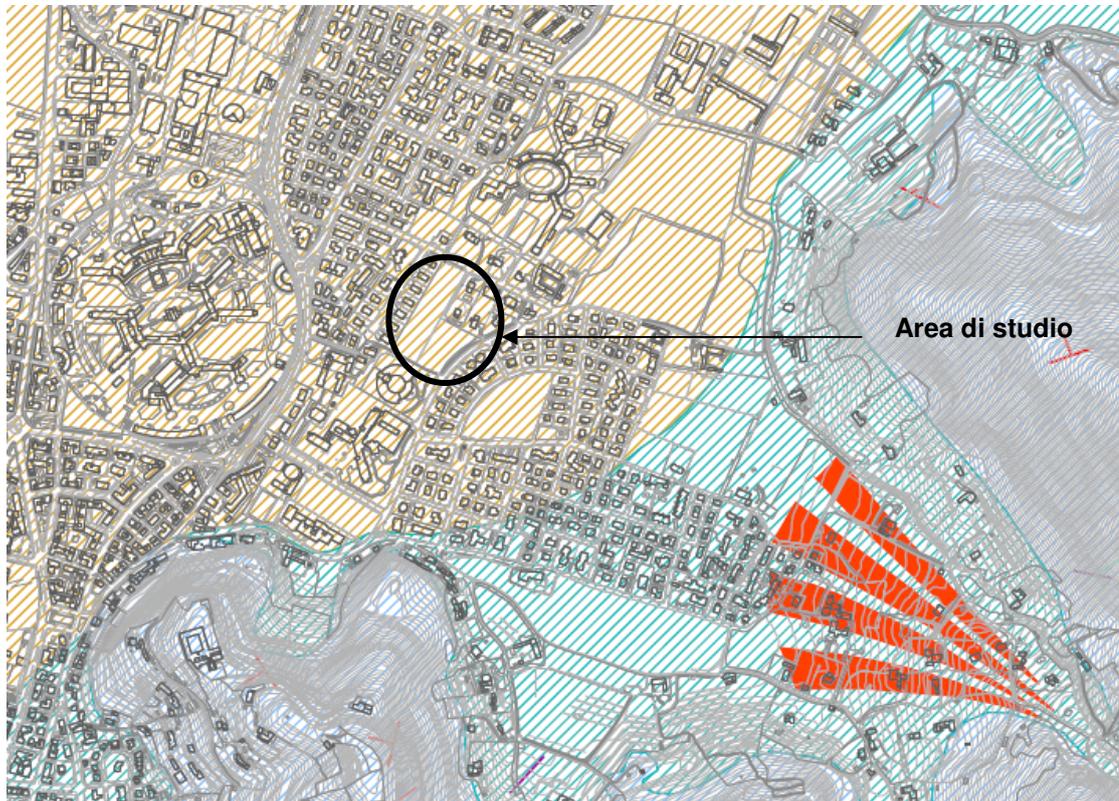
2.1. Caratteristiche geomorfologiche

L'area di intervento è un lotto di terreno agricolo caratterizzato da prato e da alberi sui confini.

Il lotto è intercluso a una zona già edificata; si trova nel settore nord orientale della città, poco a nord della struttura ospedaliera Casa di Cura Domus Salutis, e allo sbocco di una delle vallecole del Monte Maddalena, dove sorge il quartiere di Costalunga.

Questo settore di territorio comunale è costituito dai depositi della pianura che sono caratterizzati da un assetto tipico di ambiente deposizionale alluvionale; si possono riscontrare frequenti variazioni verticali e laterali nella granulometria dei terreni con prevalenza di litotipi grossolani (ghiaie e sabbie) con possibili lenti di terreno limoso argilloso.

La copertura di natura limoso argillosa dovuta all'azione di alterazione delle rocce calcareo marnose che costituiscono la zona collinare, può localmente avere spessori plurimetrici.



Legenda



Figura 1: Estratto della Carta Geologica All.04 del PGT vigente

2.2. Caratteristiche idrogeologiche

Non si hanno informazioni bibliografiche relativamente alla profondità e all'escursione della falda principale captata dai pozzi pubblici e privati che dovrebbe essere presente in profondità: il livello statico dei pozzi dell'Ospedale Civile è oltre i 35 m da p.c.

Negli strati più superficiali è invece presente una circolazione idrica discontinua e stagionale legata agli apporti delle piogge che vengono immagazzinate negli ammassi rocciosi fratturati che costituiscono l'area collinare.

Questa circolazione idrica si muove lungo direttrici preferenziali verso il fondovalle drenando attraverso strati a maggiore permeabilità e localmente può dare origine ad una falda sospesa che può interferire con eventuali piani interrati.

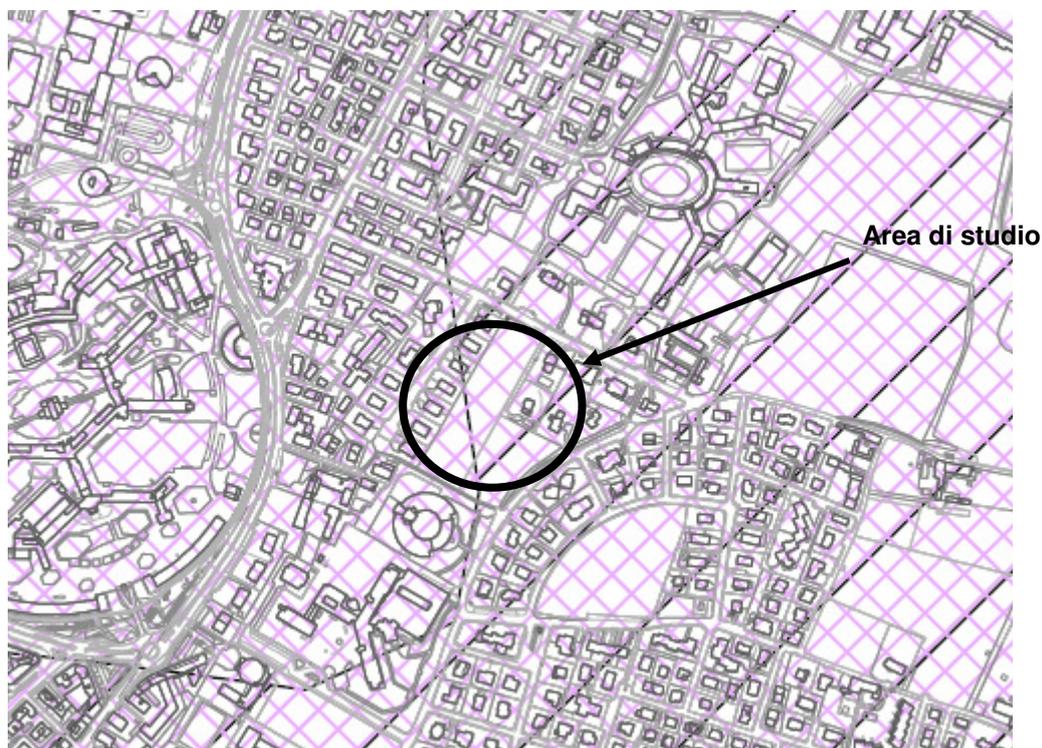
Nel quartiere di Costalunga, localizzato poco ad est dell'area d'intervento, è nota la presenza di una falda superficiale in grado di allagare i piani interrati e le cantine delle abitazioni in occasione di eventi piovosi importanti, ma ricorrenti.

2.3. Fattibilità geologica e inquadramento sismico

L'area di studio ricade in classe di fattibilità 1:- zona subpianeggiante di fondovalle dove non si rilevano particolari limitazioni all'urbanizzazione.

Il comune di Brescia ricade in zona sismica 3.

L'area di studio è in zona Z4b ed è potenzialmente suscettibile di amplificazione litologica e geometrica



Legenda



Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.



Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre.



Aree suscettibili di amplificazione litologica

Figura 2: Estratto della Carta Classi Fattibilità Geologica Tavola PR09 del PGT vigente

3. INDAGINI IN SITO

La campagna geognostica effettuata nell'ambito del presente studio ha previsto l'esecuzione di:

- cinque prove penetrometriche dinamiche la cui posizione è riportata in figura 3;
- uno stendimento sismico con metodologia MASW la cui posizione è riportata in figura 3.

Le indagini sono state realizzate in conformità alle "Raccomandazioni per le indagini geotecniche" (1977) dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI).

3.1. Prove penetrometriche dinamiche

La prova penetrometrica dinamica continua consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, posta all'estremità di un'asta di acciaio, e un rivestimento in sequenza alternata, misurandone il numero di colpi per affondamenti successivi di 30 cm.

La prova penetrometrica dinamica non consente la visione diretta del terreno investigato.

I risultati sono rappresentati per mezzo di un diagramma continuo e interpretati utilizzando delle correlazioni empiriche tra il valore di N_{SCPT} e N_{SPT} che permettono di ottenere dei valori di riferimento standard.

I risultati delle prove sono risultati correlabili tra di loro.

L'andamento delle resistenze alla penetrazione della punta consente di schematizzare il sottosuolo in tre unità.

- l'unità 1 (superficiale) poco addensata che probabilmente corrisponde alla copertura limoso sabbiosa debolmente argillosa; lo spessore di questa unità aumenta da ovest verso est; lo spessore nelle prove n. 1, 2, 3 è mediamente 1.8, mentre nelle prove n. 4 e 5 è di circa 4 m.
- l'unità 2 - da circa 1.8 m nella zona ovest e 3.5 /4 m nella zona est fino a 9/10 m di profondità da p.c. in entrambe le zone –; il deposito è moderatamente addensato; si tratta probabilmente di una miscela eterogena di sabbia limosa localmente ghiaiosa o localmente debolmente argillosa.
- l'unità 3 – da circa 9 m a 12.3 m da p.c.: da poco addensata a moderatamente addensata; si tratta probabilmente di sabbia limoso argillosa debolmente ghiaiosa. I

risultati dell'indagine sismica schematizzati nel profilo sismico riportato nel capitolo 4 indicano uno spessore di 3.5/4 m di questa unità; quindi fino a circa 13.5 m da p.c..

Si segnala la presenza di una falda sospesa e superficiale a circa 9 m di profondità da piano campagna.

3.2. Indagine sismica mediante metodologia MASW

In data 12/06//2014, è stato eseguito n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la procedura tipo MASW.

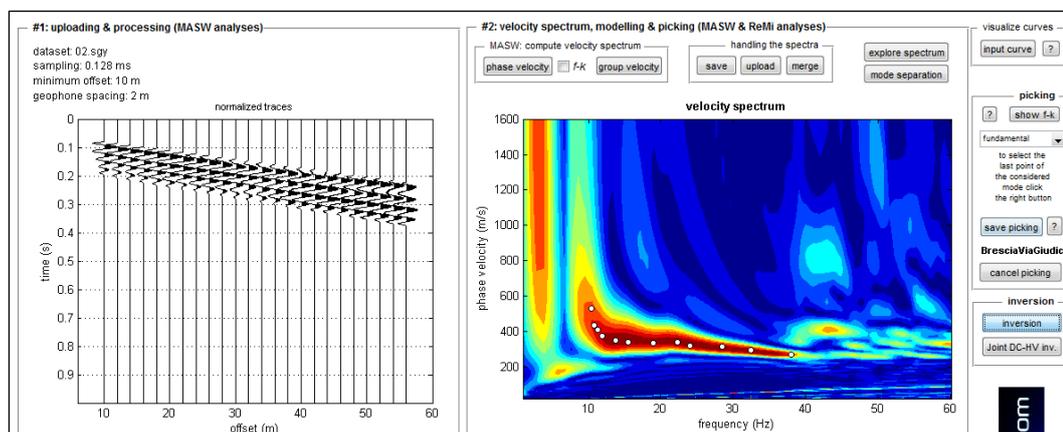
Mediante tale metodologia è possibile eseguire la valutazione delle velocità V_{s30} di sito al fine di classificare il terreno di fondazione secondo le tabelle allegate al D.M. 14/01/08.

3.2.1. Acquisizione dati

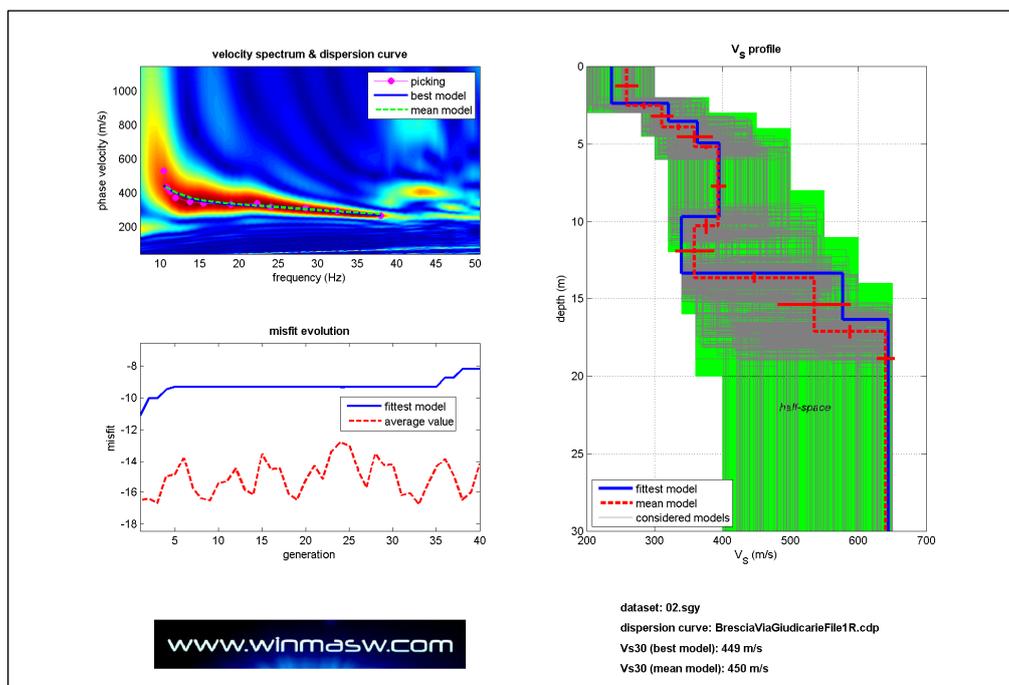
L'acquisizione dei dati è avvenuta secondo le modalità "common-shot gathers", utilizzando strumentazione "Geometrics" costituita da un sismografo modulare GEODE 3-1000 a 24 canali, con collegati 24 geofoni verticali GEOSPACE (GS11D) con frequenza di 4,5 Hz e puntale da 3".

L'allineamento ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 2,0 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (2-5-10 m) e diversa intensità di energizzazione; l'energizzazione è stata ottenuta mediante massa battente, collocata all'esterno dello stendimento dei geofoni.

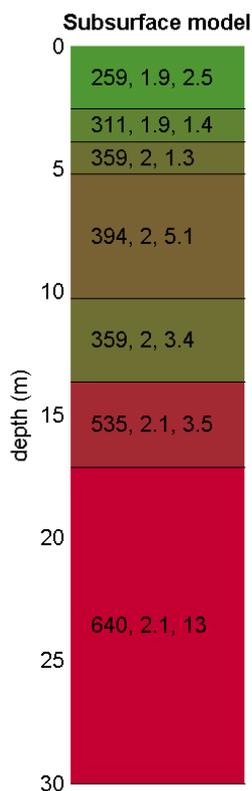
I dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software winMASW (creato dalla Eliosoft). La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 10.dat), poi si procede con il calcolo dello spettro di velocità.



Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della Vs è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata"; per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 5 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio.



Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



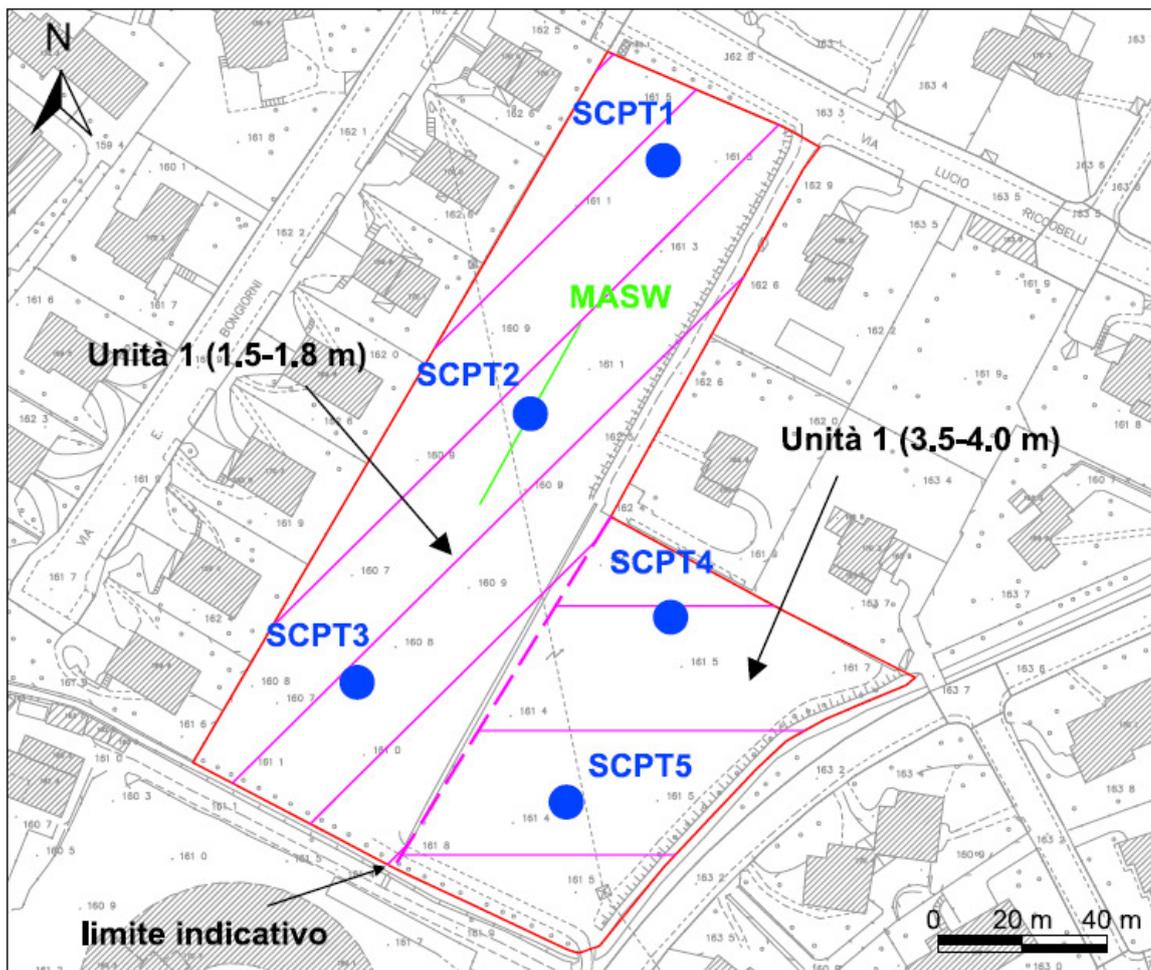
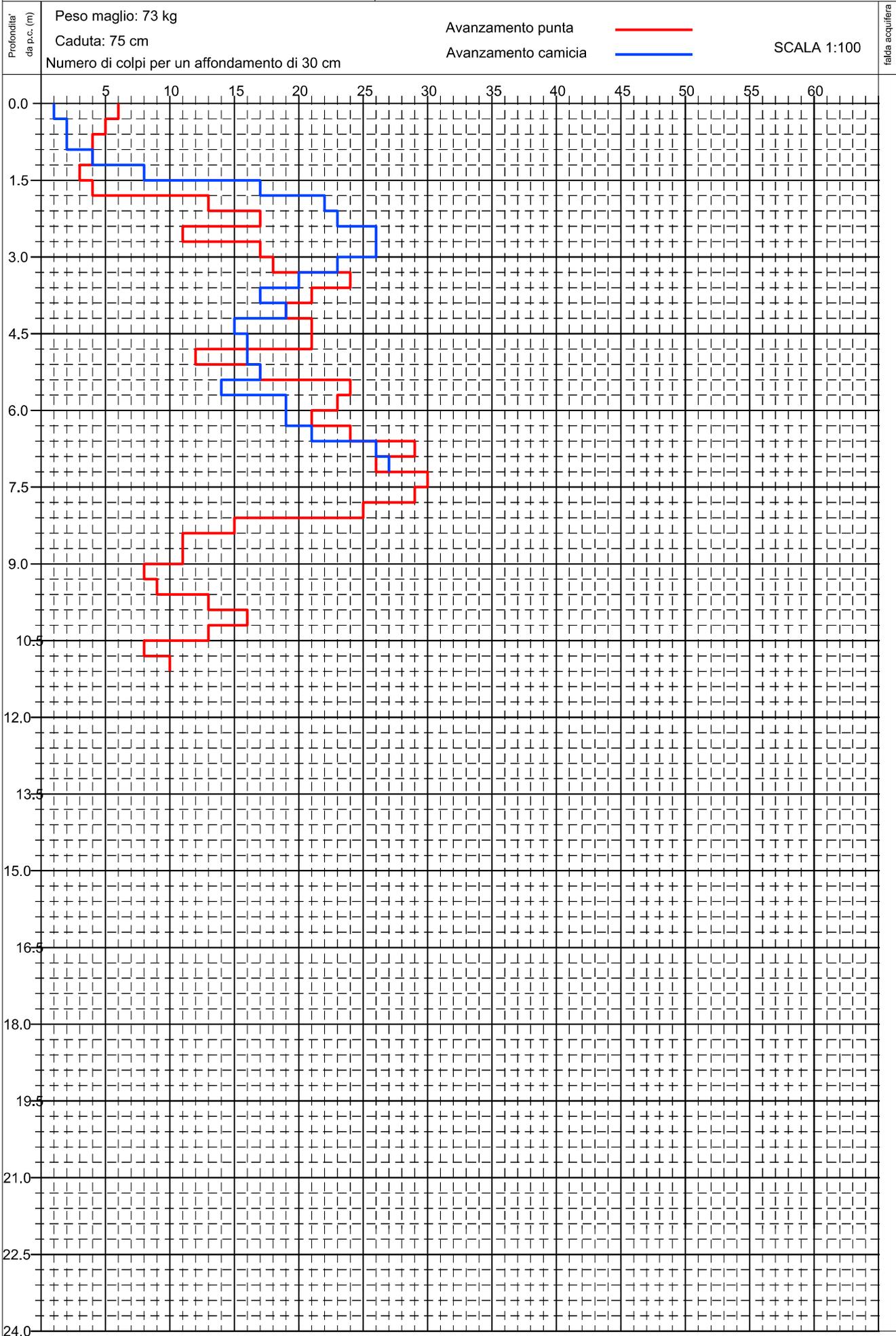
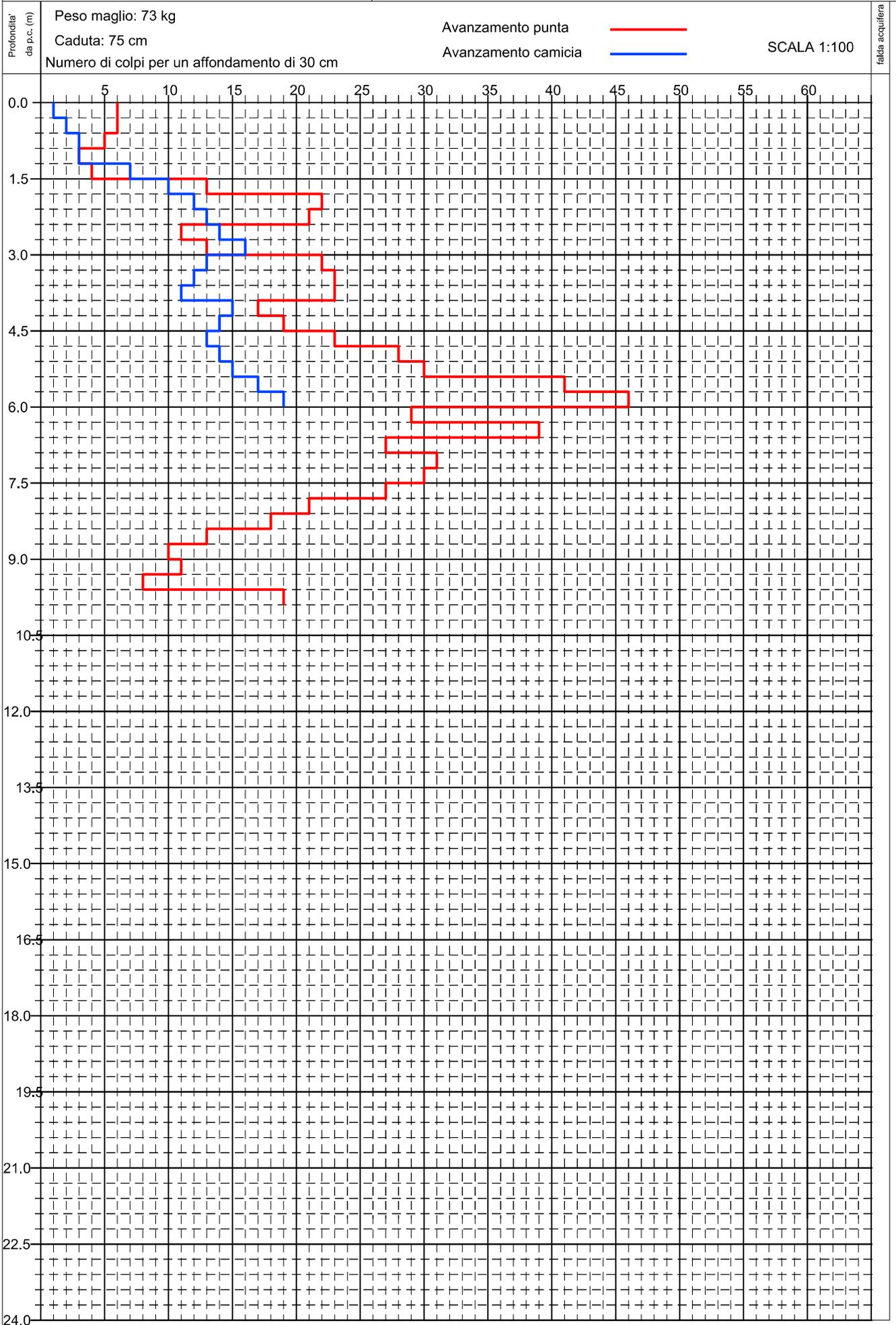


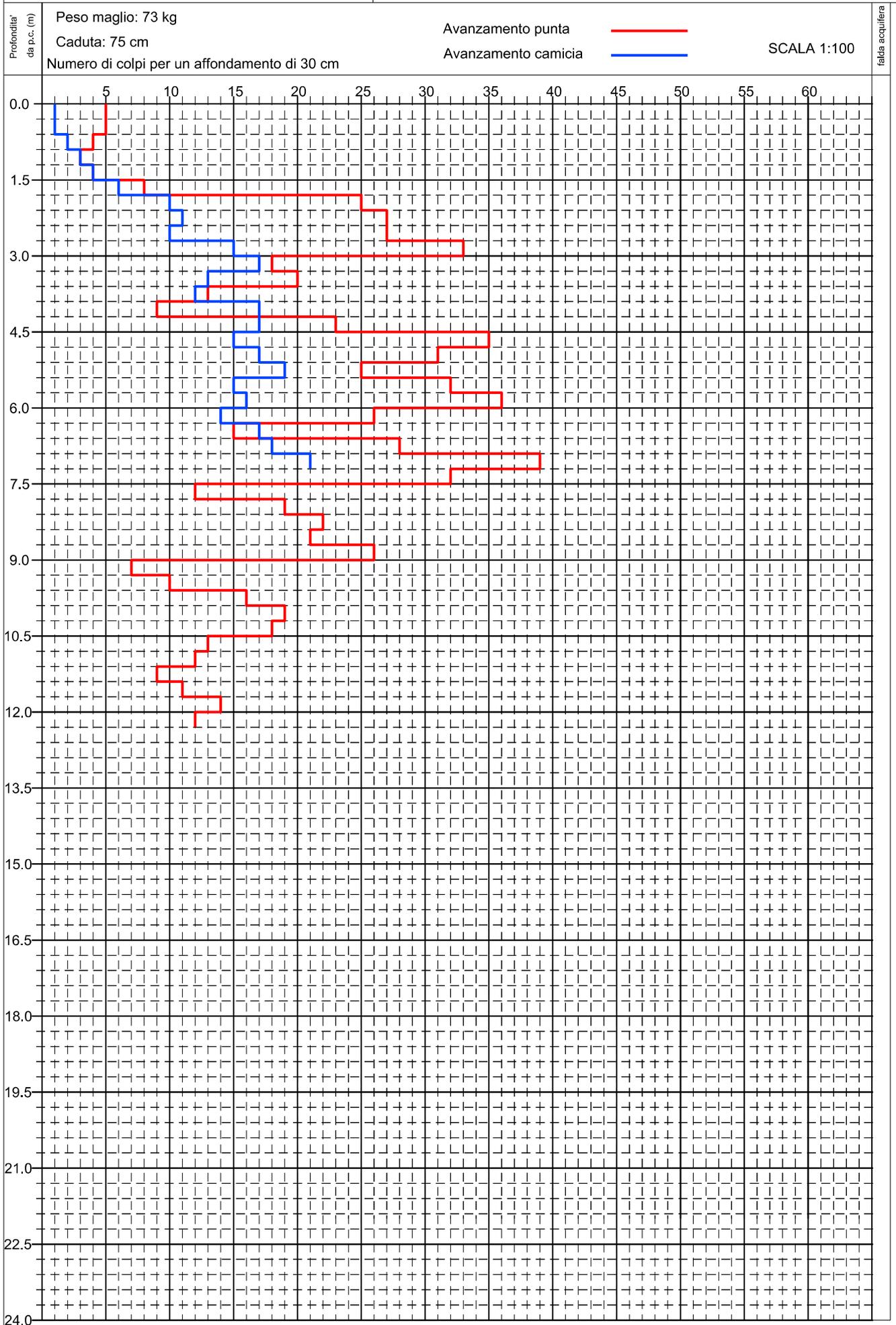
Figura 3: ubicazione indagine con indicazione variazione degli spessori dello strato superficiale avente mediocri caratteristiche (unità 1).

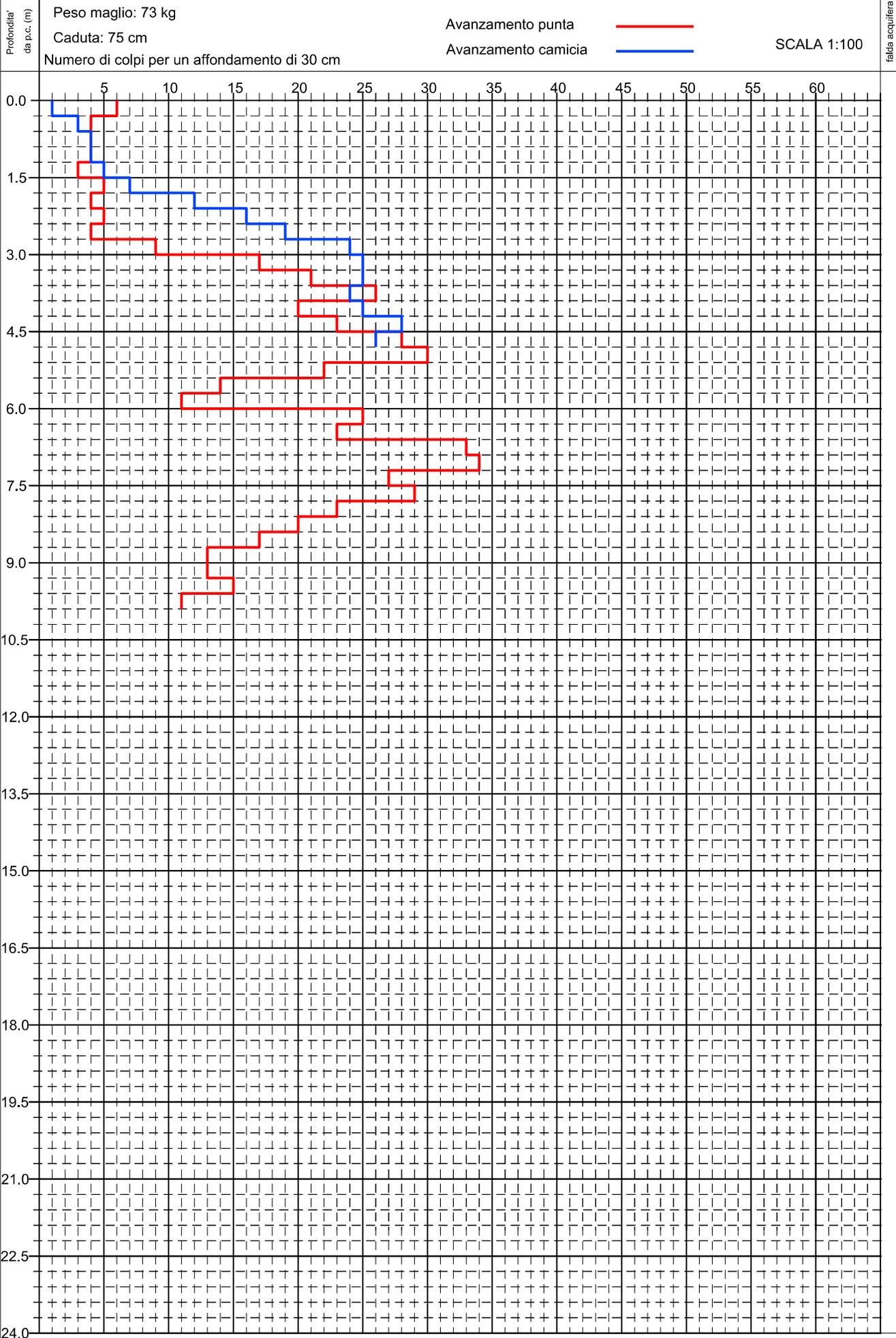


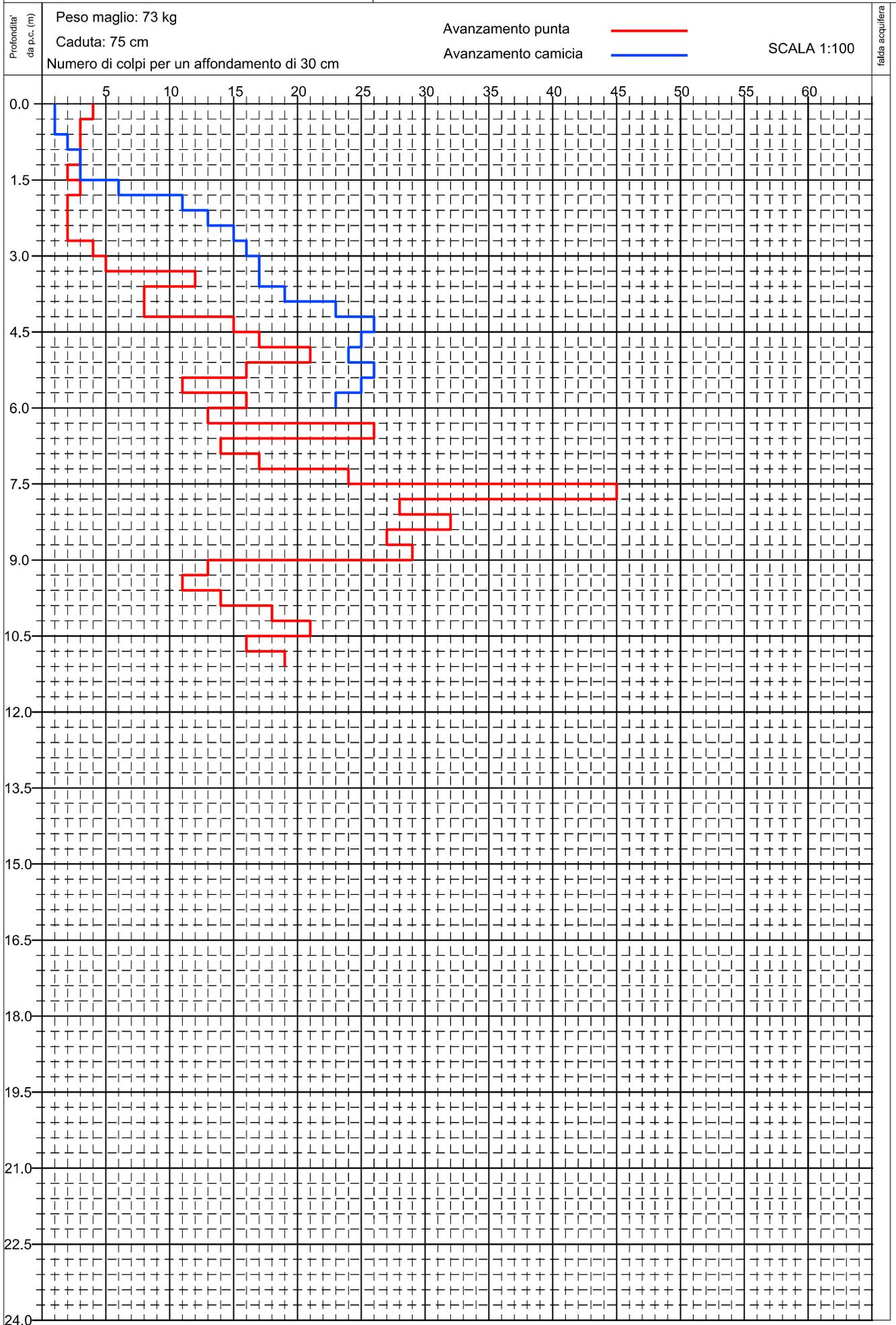
fatta acquiera



fatta acquiera







falda acquifera

4. INQUADRAMENTO SISMICO E COEFFICIENTI SISMICI [N.T.C.] DI SITO

Nella nuova classificazione sismica del territorio regionale (Allegato A della D.G.R. 7 novembre 2003 n. 7/14964), il comune di Brescia è stato inserito in Zona 3.

Nell'Aprile 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha prodotto una nuova "Mappa di pericolosità sismica" che è stata approvata con l'OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006.

In tale documento i valori di a_g sono rappresentati in termini di curve di livello con passo 0.025 g e si riferiscono all'accelerazione orizzontale massima con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

Il D.M. 14 gennaio 2008, contenente le nuove Norme tecniche per le costruzioni, è strutturato in maniera tale da non assegnare più alle zone sismiche un valore univoco di a_g , ma questo viene calcolato sulla base di una griglia di punti derivante dalla carta della pericolosità sismica redatta dall'INGV nel 2006.

In base a tale griglia è possibile ricostruire la "pericolosità sismica di base" del sito in oggetto, dalla quale verrà successivamente determinata l'"azione sismica di progetto" necessaria per effettuare le verifiche secondo i diversi stati limite presi in considerazione nella progettazione.

Per il sito in esame si ottengono quindi i seguenti valori per i parametri a_g , F_0 e TC^* , attribuendo preliminarmente all'opera in oggetto una Classe II (vedi Decreto n. 3685 del 21 ottobre 2003).

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [-]	TC^* [s]
S.L.O.	30,0	0,37	2,43	0,21
S.L.D.	50,0	0,5	2,38	0,23
S.L.V.	475,0	1,32	2,46	0,27
S.L.C.	975,0	1,7	2,49	0,28

Dove :

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito in condizioni di campo libero, su suolo rigido di categoria A e con superficie topografica orizzontale;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante

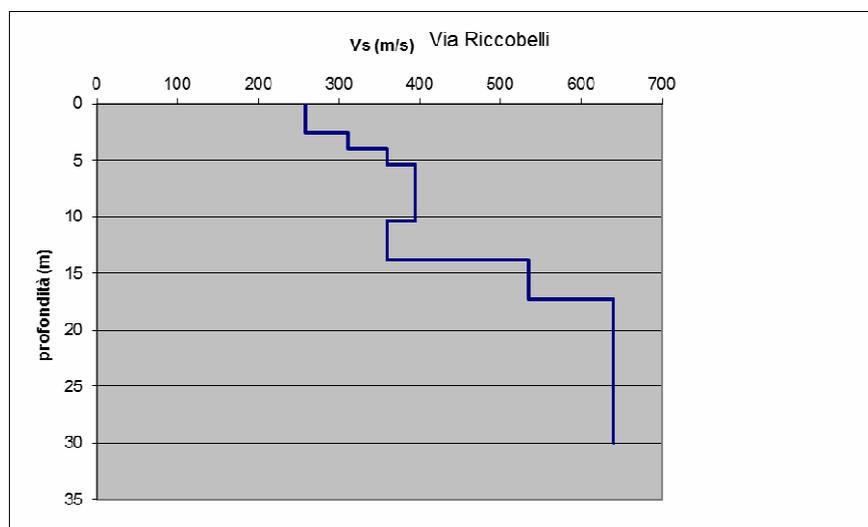
A questo punto, per ottenere effettivamente i valori delle accelerazioni massime attese al sito e i coefficienti sismici necessari per effettuare le verifiche risulta necessario considerare le possibili amplificazioni del moto sismico legate alle litologie presenti e alla topografia sito-specifica.

L'area di indagine, nella Carta di Pericolosità Sismica Locale allegata al PGT, ricade nello scenario di amplificazione sismica locale Z4b (v. cap. 2.3).

Da un punto di vista topografico l'area esaminata è posta in una porzione di territorio pressoché pianeggiante e rientra quindi nella categoria topografica T1 – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$ (vedi § 3.2.2 D.M. 14/01/2008).

Per valutare invece il valore delle V_{s30} sito-specifico si sono utilizzati i risultati dello stendimento di sismica MASW effettuato all'interno del sito oggetto di indagine.

Il calcolo delle V_{s30} effettuato a partire da p.c. ha dato come risultato un valore di $V_{s30} = 448$ m/s. In accordo al D.M. 14 gennaio 2008 il terreno dell'area in esame ricadrebbe nella categoria di sottosuolo B.



4.1. Valutazione dell'amplificazione sismica locale - Applicazione della procedura di 2° livello (Allegato 5 della D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011)

Ricadendo l'area in oggetto all'interno di uno scenario suscettibile di amplificazione sismica litologica (Z4) è stata applicata la procedura di 2° livello secondo la metodologia della Regione Lombardia.

Questa procedura di verifica consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi, in quanto fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

Il modello geofisico del sottosuolo ottenuto (variazione delle onde di taglio Vs con la profondità a partire dal piano di fondazione) ha permesso, applicando l'Allegato 5 della D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011, di ottenere dei valori di Fa (fattore di amplificazione) pari a $Fa = 1.5$ nell'intervallo 0.1-0.5 s e $Fa = 1.2$ nell'intervallo 0.5-1.5 s.

Questi valori di Fa (Fa abaco) devono essere confrontati con il valore soglia (Soglia norma) fornito dalla Regione Lombardia per il Comune di Brescia per la categoria di sottosuolo B.

Intervallo di periodo 0.1-0.5 s		Intervallo di periodo 0.5-1.5 s	
Fa abaco	Soglia norma Categoria di sottosuolo B	Fa abaco	Soglia norma Categoria di sottosuolo B
1.5	1.4	1.2	1.7

Il confronto mostra che i valori ottenuti siano inferiori ai valori soglia, tenendo conto della tolleranza +/- 0,1 per l'intervallo di periodo 0.1 – 0.5 s, per cui si può confermare la categoria di sottosuolo B e l'utilizzo del relativo spettro di norma caratteristico.

4.2. Coefficienti sismici [N.T.C.] di sito

Una volta stabilite le possibili amplificazioni locali e la loro natura è possibile ottenere i valori delle massime accelerazioni e dei coefficienti sismici sito-specifici riportati nella seguente tabella (categoria di sottosuolo B):

S.L. Stato limite	a_{max} [m/s ²]	beta [-]	k_h [-]	k_v [s]
S.L.O.	0,444	0,2	0,0091	0,0045
S.L.D.	0,6	0,2	0,0122	0,0061
S.L.V.	1,584	0,24	0,0388	0,0194
S.L.C.	2,04	0,24	0,0499	0,025

Dove

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

beta = coefficiente di riduzione dell' accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

k_h e k_v = coefficienti sismici orizzontale e verticale.

4.1. Verifica a liquefazione dei depositi presenti

I depositi presenti in sito presentano una eterogeneità granulometrica (passando dalla frazione ghiaiosa a quella limoso-argillosa) e la falda freatica si trova ad una profondità di oltre 35 m da p.c.; queste caratteristiche dei depositi li rendono tendenzialmente non soggetti a fenomeni di liquefazione.

5. MODELLO GEOTECNICO

L'elaborazione dei valori di N_{SPT} nonché il confronto tra il materiale bibliografico e le evidenze emerse nell'indagine di campagna hanno permesso di individuare e parametrizzare nel sottosuolo dell'area esaminata tre unità geotecniche che sono state ritenute omogenee per quanto riguarda il comportamento geotecnico e alle quali sono stati attribuiti sia i parametri geotecnici medi (f_m) che caratteristici (f_k).

I valori caratteristici, utilizzati nel capitolo seguente per la stima della capacità portante sia "puri" sia "integrati" da specifici coefficienti di sicurezza (vedi D.M. 14.01.2008) per ottenere i valori di progetto, sono stati ricavati mediante la seguente espressione:

$$f_k = f_m (1 - 1.645 V_f)$$

dove f_k è il valore caratteristico del parametro, f_m è il valore medio del parametro e V_f il coefficiente di variazione del parametro definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori del parametro considerato.

In base alle indagini effettuate l'area presenta uno strato di copertura superficiale – unità 1 - di spessore variabile da ovest verso est come evidenziato nei diagrammi penetrometrici e sulla figura 3 (v. cap. 3).

Unità geotecnica 1: limo sabbioso debolmente argilloso – tale unità ha uno spessore variabile nell'area da circa 1.5/1.8 m da p.c. **nel settore ovest** (v. fig. 3 e prove n. 1, 2 e 3) a circa 3.5/4 m da p.c. nel settore est (v. fig. 3 e prove n. 4 e 5).

UNITA' 1	Valore medio	Valore caratteristico	Descrizione
γ (kN/m ³)	16,5	16,0	Peso di volume del deposito
φ' (°)	29	28	Angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci
E_Y (MPa)	7	5.5	Modulo di Young (ricavato da N_{SPT})

Unità geotecnica 2: sabbia limosa localmente ghiaiosa o localmente debolmente argillosa; tale unità è presente inferiormente all'unità 1 fino alla profondità variabile di circa 9 - 10 m da p.c. attuale.

UNITA' 2	Valore medio	Valore caratteristico	Descrizione
γ (kN/m ³)	20	19	Peso di volume del deposito
ϕ' (°)	35	31	Angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci
E_Y (MPa)	18,6	11	Modulo di Young (ricavato da N_{SPT})

Unità geotecnica 3: sabbia limoso argillosa inglobante ghiaia – tale unità è presente inferiormente all'unità 2 fino alla massima profondità di 12.3 m da p.c., raggiunta dall'indagine.

UNITA' 3	Valore medio	Valore caratteristico	Descrizione
γ (kN/m ³)	18	17	Peso di volume del deposito
ϕ' (°)	32	31	Angolo d'attrito in termini di tensioni efficaci
E_Y (MPa)	12.4	7.8	Modulo di Young (ricavato da N_{SPT})

Inferiormente all'unità 3 i dati litostratigrafici ottenuti dall'indagine sismica evidenziano la presenza di depositi ghiaioso sabbiosi addensati ($V_s = 600$ m/s) a partire da circa 15/17 m fino a 30 m da p.c., con locali lenti di limo argilloso.

Si segnala la probabile presenza di una modesta "falda superficiale" a circa 9 m da p.c. (si sono rilevate aste di prova umide), mentre la falda freatica principale è segnalata a oltre 35 m da p.c. (v. cap. 2.3).

Questa falda potrebbe essere sostenuta dall'unità 3.

6. STIMA DELLA CAPACITA' PORTANTE

La stima della capacità portante è stata eseguita mediante l'applicazione dell'espressione generale proposta da Brinch – Hansen (EC8) che riguarda tutti i tipi di terreni e le diverse geometrie di fondazioni superficiali.

La verifica è stata condotta in condizioni drenate ($C_u = 0$; $\phi' \neq 0$), secondo l'equazione:

$$q_{lim} = c N_c * s_c * d_c * z_c + q * N_q * s_q * d_q * z_c + 0.5 * \gamma * B N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma * z_\gamma$$

dove:

ϕ'	Angolo d'attrito
q	Carico geostatico agente all'imposta della fondazione
B	Larghezza della fondazione
N_c, N_q, N_γ	Coefficienti adimensionali di capacità portante
s_c, s_q, s_γ	Coefficienti di forma
d_c, d_q, d_γ	Coefficienti di profondità
z_q, z_c, z_γ	Fattori correttivi sismici dipendenti da k_h e k_v

Condizioni per il calcolo:

- Settore ovest : il piano di appoggio delle fondazioni è stato posto alla quota di 2,5 m da p.c. dato che è prevista la realizzazione di un piano interrato, il piano di appoggio coincide con l'unità geotecnica 2;
- Settore Est, a causa dell'aumento di spessore dell'unità 1 superficiale, il piano di appoggio posto sempre alla quota di 2,5 m da p.c., coincide con l'unità geotecnica 1.
- L'altezza di incastro effettivo della fondazione (D_f) è stata scelta pari a 0.9 m. per plinti e travi e 0.5 per platea.
- I parametri geotecnici utilizzati sono i parametri caratteristici delle unità interessate;
- Non avendo a disposizione il fattore di struttura q e il periodo di vibrazione fondamentale dell'edificio T, nelle combinazioni con sisma non è stato portato in conto l'effetto inerziale generato dal sisma in fondazione, ma esclusivamente l'effetto cinematico.

Nella tabella proposta di seguito si riporta il riassunto dei calcoli effettuati secondo le tensioni ammissibili T.A. e agli stati limite ultimi S.L.U..

FONDAZIONI Settore Ovest Unità 2	T.A.		S.L.U.					
			Appr. 1				Appr. 2	Appr. 2 sisma
			Comb. 1	Comb. 1 sisma	Comb. 2	Comb. 2 sisma		
	Q_{lim} (kPa)	Q_{amm} (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)
Plinto 2.5 x 2.5 m	1.043	347	1.147	1.121	313	304	499	488
Plinto 3.5 x 3.5 m	1.263	421	1.244	1.216	332	322	541	529
Trave B= 1.0 m	768	256	763	746	219	213	332	324
Trave B = 1.5 m	906	302	854	835	239	232	371	363
Platea in m 10 x 20	784	261	477	461	139	133	207	200

FONDAZIONI Settore Est Unità 1	T.A.		S.L.U.					
			Appr. 1				Appr. 2	Appr. 2 sisma
			Comb. 1	Comb. 1 sisma	Comb. 2	Comb. 2 sisma		
	Q_{lim} (kPa)	Q_{amm} (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)	R_D (kPa)
Plinto 2.5 x 2.5 m	608	202	676	659	196	190	294	287
Plinto 3.5 x 3.5 m	830	276	824	804	229	228	358	349
Trave B= 1.0 m	389	129	398	387	124	120	173	168
Trave B = 1.5 m	452	151	436	424	133	129	189	184
Platea in m 10 x 20	700	233	414	400	121	115	178	174

- Q_{lim} = portata limite nei confronti della rottura del terreno- formula di Terzaghi -
- $Q_{amm} = Q_{lim}/F_s$ con $F_s = 3$ - formula di Terzaghi - .
- Appr1 – Appr2 Formula di Brinch e Hansen (EC8)

- Appr. 1 – Comb. 1 = approccio 1 - combinazione 1 ; $R_D = Q_{lim}(\phi, c)$
- Appr. 1 – Comb. 1 – sisma = come sopra con fattori correttivi sismici¹
- Appr. 1 – Comb. 2 = approccio 1 - combinazione 2; $R_d = 1/\gamma_{R2} Q_{lim}(\phi_R, c_R)$
- Appr. 1 – Comb. 2 – sisma = come sopra con fattori correttivi sismici¹
- Appr. 2 = approccio 2; $R_d = 1/\gamma_{R3}^* Q_{lim}(\phi, c)$
- Appr. 2 – sisma = come sopra con fattori correttivi sismici¹
- γ_{R2} = coefficiente parziale pari a 1,8 (tabella 6.4.1 – D.M. 14/01/08);
- γ_{R3} = coefficiente parziale pari a 2,3 (tabella 6.4.1 – D.M. 14/01/08)
- $Q_{lim}(\phi_R, c_R)$ portata limite calcolata utilizzando ϕ ridotto con il coefficiente parziale 1.25 per condizioni drenate secondo l'espressione $\phi_R = \arctan[\tan(\phi)/\gamma_{M2}]$ - tabella 6.2.II del D.M. 14.01.2008;

* Fattori correttivi secondo Paolucci e Pecker – vengono applicati dei coefficienti riduttivi “z” ai fattori di portanza N_q , N_c e N_γ :

$$z_q = z_\gamma = \left(1 - \frac{k_h}{\text{tg } \phi}\right)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32k_h$$

dove k_h è il coefficiente sismico orizzontale riferito al piano di posa delle fondazioni. I nuovi fattori di portanza saranno quindi dati dalle seguenti espressioni:

$$N_q' = z_q N_q \quad N_\gamma' = z_\gamma N_\gamma \quad N_c' = z_c N_c$$

7. STIMA DEI CEDIMENTI

Il calcolo dei cedimenti è stato condotto secondo il metodo proposto da *Schmertmann (1970)*; il cedimento si esprime attraverso la seguente espressione:

$$w = C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta q \cdot \sum \frac{I_z \cdot \Delta z_i}{E_i}$$

nella quale:

Δq rappresenta il carico netto applicato alla fondazione;

I_z è un fattore di deformazione di valore massimo ad una profondità pari a B/2 per fondazione circolare o quadrata e B per fondazione nastriforme.

dove: $I_{z_{max}} = 0.5 + 0.1 (\Delta q / \sigma'_{vi})^{0.5}$

σ'_{vi} rappresenta la tensione verticale efficace a profondità B/2 per fondazioni quadrate o circolari, e a profondità B per fondazioni nastriformi.

E_i rappresenta il modulo di deformabilità del terreno in corrispondenza dello strato i-esimo considerato nel calcolo – E utilizzato = medio (v. cap. 5);

Δz_i rappresenta lo spessore dello strato i-esimo;

C_1 e C_2 sono due coefficienti correttivi.

Le fondazioni sono state assunte come perfettamente rigide con associato un unico valore di cedimento ed il carico uniformemente distribuito.

Il calcolo è stato condotto su diverse pressioni di esercizio ipotizzate per diverse tipologie di fondazione, valutando i cedimenti immediati (Δh_i).

Le fondazioni sono state ipotizzate poste a 2.5 m da p.c..

SETTORE OVEST		
Fondazione (m)	Q_{es} (kPa)	Δh_i (cm)
Plinto 2.5 x 2.5	350	3,3
	250	2
	200	1,4
	150	0,9
Plinto 3.5 x 3.5	300	4
	200	2
	150	1,3
Trave lato B = 1.0	250	1,2
	200	0,8
	150	0,5
Trave lato B = 1.5	302	3,5
	250	2,7
	200	2
Platea 10 x 20	150	5,6
	100	2,2

N.B.: il calcolo del cedimento è stato cautelativamente ipotizzato immaginando che la pressione sia uniformemente applicata a tutta la fondazione

SETTORE EST		
Fondazione (m)	Q_{es} (kPa)	Δh_i (cm)
Plinto 2.5 x 2.5	203	2
	150	1,2
Plinto 3.5 x 3.5	280	4
	250	3,3
	200	2,4
	150	1,5
Trave lato B = 1.0	130	0,8
Trave lato B = 1.5	150	1.5
	100	0,6
Platea 10 x 20	150	6
	100	2.5

N.B.: il calcolo del cedimento è stato cautelativamente ipotizzato immaginando che la pressione sia uniformemente applicata a tutta la fondazione

7.1. Considerazioni generali

I valori del cedimento trovati per le diverse geometrie di fondazione possono essere utili al progettista per comprendere se l'ordine del cedimento atteso associato alla pressione di esercizio possa generare problematiche legate alla funzionalità degli edifici in progetto.

In genere i cedimenti immediati tendono ad esaurirsi nel periodo della costruzione dell'edificio.

Come prescritto nelle NTC occorrerà verificare che le deformazioni derivanti dai cedimenti delle fondazioni siano ammissibili con la funzionalità dell'opera in progetto (verifiche SLE).

I cedimenti indicati sono comunque da considerare relativi a fondazioni non interagenti. Qualora quindi il progetto prevedesse fondazioni poste ad interassi inferiori a:

$$i_f = \alpha (B1 + B2) / 2$$

dove α è il coefficiente di influenza pari a 1.75 e 2 per fondazioni a plinto e a trave contigue con lati pari a B1 e B2, i cedimenti delle fondazioni potranno risultare superiori a quelli indicati.

7.2. Stima del coefficiente di sottofondazione k_{vm}

Utilizzando i valori dell'ipotetico carico di progetto fornito dai progettisti e le medesime dimensioni di fondazione si è proceduto ad effettuare una stima del coefficiente di sottofondazione.

Vengono di seguito indicati i valori del coefficiente di sottofondazione verticale medio ("terreno alla Winkler") per la tipologia di fondazione considerata.

$$k_{vm} = q_a / w$$

dove: q_a = pressione applicata in fondazione

w = cedimento medio corrispondente.

FONDAZIONI	k_{vm} (kN/m ³)
Plinto 2.5 x 2.5	20.800
Plinto 3.5 x 3.5	7.300
Trave 1.0	18.500
Trave 1.5	9.300
Platea 10 x 20	2.600

Si ricorda comunque che i valori di tale coefficiente dovrebbero essere, a rigore, ottenuti mediante l'esecuzione di prove su piastra e di conseguenza il risultato riportato in tabella, che è stato ottenuto attraverso un'equazione empirica, dovrebbe essere inteso come una stima approssimativa utile per un confronto con i valori riportati nelle tabelle pubblicate dalla letteratura tecnica e scientifica.

8. CONCLUSIONI

La presente relazione illustra i risultati di una indagine geognostica, geotecnica e sismica eseguita a supporto del P.A. che prevede la realizzazione di nuovi edifici residenziali in via Riccobelli, in comune di Brescia.

Nel capitolo 2 si è affrontato l'inquadramento geomorfologico ed idrogeologico dell'area sulla base di dati bibliografici disponibili.

Nel capitolo 3 si è descritta la campagna geognostica che ha previsto l'esecuzione di cinque prove penetrometriche dinamiche e uno stendimento sismico con metodologia MASW; i principali temi da porre all'attenzione sono i seguenti:

- 1) la presenza di uno strato superficiale limoso sabbioso localmente argilloso il cui spessore variabile all'interno del lotto aumenta da ovest verso est; nella figura 3 si è cercato di rappresentare sulla base dei dati disponibili la variazione di spessore, si tratta di una interpretazione su dati puntuali. Nel settore est del lotto lo spessore dello strato (unità 1) è di circa 1.8 m; nel settore est è di circa 4 m, si tratta di materiale avente mediocri caratteristiche geotecniche.
- 2) È stata rilevata la presenza di una falda sospesa di modesta portata alla profondità di circa 9 m da p.c.; sulla base dei dati disponibili si rileva che la falda freatica principale si trova a profondità > 35 m da p.c.; si sottolinea che nel quartiere di Costalunga, confinante ad est con l'area d'intervento, è nota la presenza di una falda superficiale in grado di allagare i piani interrati e le cantine delle abitazioni in occasione di eventi piovosi importanti e ricorrenti; non si può escludere una stagionale e occasionale circolazione sotterranea a profondità inferiori in grado di interferire con eventuali piani interrati per cui si consiglia di valutare l'impermeabilizzazione degli interrati.

Nel capitolo 4 è stato effettuato l'inquadramento sismico con il calcolo dei coefficienti sismici sito-specifici e la valutazione della pericolosità sismica locale (vedi § 4.1) attraverso l'applicazione del secondo livello di approfondimento previsto dalle procedure della Regione Lombardia di cui all'All. 5 della D.G.R. n.9/2616 del 30 novembre 2011: la categoria di sottosuolo riverificata è la B.

Nel capitolo 5 si è definito il modello geologico e geotecnico del sottosuolo che è stato utilizzato per le successive verifiche: il modello individua tre unità geotecniche.

Nel capitolo 6 si è verificata la capacità portante limite sia secondo le tensioni ammissibili e sia secondo il metodo agli SLU (D.M. 14.01.2008) ipotizzando diverse geometrie di fondazione; la verifica di capacità portante è stata fatta ipotizzando il piano di appoggio alla quota di 2.5 m dall'attuale piano campagna, dato che è prevista la realizzazione di un piano interrato.

La variazione di spessore dell'unità 1 ha richiesto l'esecuzione di una duplice verifica di capacità portante: una verifica per le fondazioni nel settore ovest il cui piano di appoggio ricadrebbe in corrispondenza dell'unità geotecnica 2 avente discrete caratteristiche; l'altra verifica per le fondazioni nel settore est il cui piano di appoggio ricadrebbe in corrispondenza delle 'unità geotecnica 1 avente mediocri caratteristiche geotecniche.

Nel capitolo 7 si è eseguita una verifica indicativa e di massima dei cedimenti attesi per le geometrie di fondazione prese in esame: il calcolo fornisce quindi l'ordine di grandezza del cedimento atteso e non il suo valore preciso; come prescritto nelle norme NTC occorrerà verificare che le deformazioni derivanti dai cedimenti delle fondazioni siano ammissibili con la funzionalità dell'opera in progetto (verifiche SLE); si suggerisce di prevedere fondazioni continue o a platea in modo da ridurre eventuali cedimenti differenziali legati a variazioni di spessore e granulometria dei materiali.

Si suggerisce di verificare la possibilità di approfondire sempre il piano di appoggio fino all'unità geotecnica 2.

Per raggiungere il piano di posa delle fondazioni in progetto dovranno essere realizzati degli scavi con profondità variabile tra i 2 e 4/5 m dal piano campagna attuale.

Questi scavi interesseranno una porzione superficiale di terreno dell'unità geotecnica 1 e una parte dell'unità geotecnica 2.

I terreni appartenenti alle due unità sono prevalentemente granulari e si presume abbiamo un comportamento principalmente attritivo, mentre il contributo della componente coesiva, sebbene presente, non è determinabile con precisione sulla base dei dati disponibili.

Le variazioni di umidità del terreno legate alla filtrazione di acqua o all'imbibizione a seguito di piogge intense possono modificare le forze resistenti, soprattutto la minima coesione e rendere instabili settori delle scarpate.

Inoltre l'eterogeneità dei materiali lungo la sezione di scavo richiederebbe la realizzazione di un profilo di scavo con inclinazione differente della scarpata in funzione delle caratteristiche del terreno.

Infine all'instabilizzazione del terreno può contribuire anche la presenza di carichi temporanei (legati all'attività di cantiere) in prossimità dei cigli delle scarpate e le vibrazioni indotte dall'intenso traffico veicolare lungo le strade che bordano l'area.

Si suggerisce quindi, di adottare un criterio prudenziale nella definizione dell'inclinazione della scarpata a tutela dei lavoratori e del cantiere; ad integrazione si formulano alcuni suggerimenti:

- adottare angoli di scarpa minori o uguali a 45° (1:1) e nel caso di scavi superiori ai quattro metri prevedere una berma intermedia di larghezza minima pari a 1 m che interrompa la continuità del profilo di scavo
- proteggere le scarpate dall'azione dinamica della pioggia mediante l'installazione di teli in plastica opportunamente ancorati al ciglio delle scarpate stesse.
- monitorare con continuità il ciglio stesso delle scarpate allo scopo di verificare l'eventuale instaurarsi di fratture da detensionamento che potrebbero comportare il distacco di porzioni di terreno.
- monitorare con continuità lo stato delle pareti di scavo valutando la possibile erosione meccanica al piede delle scarpate dovuta all'infiltrazione dell'acqua a tergo della scarpata anche in seguito a eventi meteorici prolungati o particolarmente intensi.

Si ricorda che l'indagine mediante prove penetrometriche e uno stendimento simico è stata puntuale rispetto alle dimensioni del lotto e non consente la visione diretta del materiale; si suggerisce in sede di progettazione esecutiva dei singoli fabbricati di eseguire eventuali approfondimenti e di riverificare i valori di capacità portante in funzione delle caratteristiche geometriche delle fondazioni esecutive.

Si raccomanda, in corso d'opera di verificare che le ipotesi formulate nella presente relazione siano confermate dalla visione diretta del terreno di fondazione.

Brescia, giugno 2014

Dr. Geol. Samuel Corradini



Professional stamp of Samuel Corradini, geologist specialist, Albo n. 1435 AP, Sezione A. The stamp is circular and contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA", "CORRADINI", "geologo specialista", "Albo n. 1435 AP", "Sezione A". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.

Dr. Geol. Laura Ziliani



Professional stamp and signature of Laura Ziliani. The stamp is circular and contains the text: "ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA", "ZILIANI", "Albo n. 262". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.