

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dott. Francesco

Via G. Matteotti, 63 – 46025 Poggio Rusco (MN)

Tel.: 0386.733246 – Fax: 0386.733246 – E-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it

C.F. GBR FNC 69M26 G186J – P.IVA 02323450201

PROVINCIA DI MODENA COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA

PROGETTO DI PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI TIPO RESIDENZIALE DENOMINATO “LE VILLE”, IN VIA MARTIRI DELLA LIBERTA’ NEL COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO), IN ADESIONE AL PIANO OPERATIVO COMUNALE

COMMITTENZA:

IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l.

P.zza Roma, 1 – 41033 Concordia sulla Secchia

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE GEOLOGICA E SULLA PERICOLOSITA’ SISMICA ai sensi D.M. 14 Gennaio 2008 – D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328

IL GEOLOGO

FRANCESCO GABRIELLI



POGGIO RUSCO, MAGGIO 2015

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

INDICE

1 - PREMESSA.....	Pag. 2
2 - REFERIMENTI NORMATIVI.....	Pag. 3
3 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	Pag. 4
4 - CONTESTO GEOLOGICO REGIONALE.....	Pag. 5
5 - GEOMORFOLOGIA.....	Pag. 10
6 - ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE.....	Pag. 14
7 - PROGRAMMA DELLE INDAGINI.....	Pag. 17
7.1 Premessa.....	Pag. 17
7.2 Prova penetrometrica statica.....	Pag. 17
7.3 Misura a stazione singola del microtremore sismico.....	Pag. 19
7.4 Indagine geofisica MASW.....	Pag. 20
8 - MODELLO GEOLOGICO LOCALE.....	Pag. 21
9 - INQUADRAMENTO SISMICO.....	Pag. 29
9.1 Macrosismicità.....	Pag. 29
9.2 Sorgenti sismogenetiche e sequenza sismica del Maggio 2012.....	Pag. 31
10 - CONCLUSIONI.....	Pag. 34

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 1
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

1. PREMESSA

La relazione sulla modellazione geologica e sulla pericolosità sismica a supporto del progetto per il Piano Urbanistico Attuativo (P.U.A.) di tipo residenziale denominato "Le Ville", ubicato in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al Piano Operativo Comunale (P.O.C.) ha il compito di definire le caratteristiche fisiche che descrivono l'ambito di futuro intervento, con riferimento alle possibilità e alle eventuali limitazioni edificatorie locali.

Se per gli aspetti litologici e geomeccanici, i compiti e le prestazioni di una relazione geologica preliminare appaiono chiari ed ormai "consueti", per gli aspetti connessi alla pericolosità sismica occorre fare riferimento alla nuova normativa vigente, in particolare al D.M. 14/01/08 e Delibera Assemblea Legislativa (D.A.L.) della Regione Emilia-Romagna n. 112/2007.

Il citato DM 14/01/08 costituisce un buon riferimento per affrontare la pericolosità sismica. A questo decreto, dunque, si farà riferimento sia per questo lavoro, sia per le direttive riferite alle analisi da compiere con i P.U.A. Nello specifico, la presente relazione considererà come parametri preliminari relativi all'edificabilità del comparto solamente gli aspetti geo-meccanici generali e la pericolosità sismica generica, mentre le altre informazioni generali relative all'edificabilità, morfologia, esondabilità, qualità e vulnerabilità delle acque sotterranee, sono esposti e discussi nella relazione geologica del quadro conoscitivo del Piano Strutturale Comunale (P.S.C.).

I parametri geomeccanici e quelli della pericolosità sismica per ogni ambito definiti in questa relazione non sono riferiti ad un progetto sia pure di massima, che in questa fase della pianificazione non può ancora esistere, ma hanno il compito di fornire una prima guida per le scelte strutturali, anche in termini di valutazione dei costi, in funzione alle prestazioni richieste per edifici o opere d'ingegneria nella fase ancora pre-progettuale. Con il P.U.A. sarà possibile e necessario approfondire le conoscenze locali in stretta relazione alla tipologia ed all'importanza dell'opera che si vuol realizzare ed alla sua progettazione preliminare.

L'analisi geologica e geotecnica dell'area oggetto di futuro intervento edificatorio, atta ad individuare le peculiari caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, è stata possibile sulla base dell'elaborazione dei dati provenienti da una campagna geognostica eseguita dal sottoscritto, in corrispondenza dell'area d'intervento, nell'Aprile 2015, consistita nella realizzazione di sei prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT), spinte fino alla profondità massima di 20 metri dall'attuale piano di campagna.

Per la classificazione dei terreni di fondazione sono state eseguite una misura a stazione singola del microtremore sismico, mediante una strumentazione quale il tomografo portatile denominato TROMINO® che ha permesso di definire la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, oltre a stimare in maniera

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 2
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

rapida la stratigrafia superficiale e le V_s , associata ad un'indagine MASW per la definizione delle V_{s30} e della categoria sismica del sottosuolo, come richiesto dalle normative vigenti.

I dati sono stati integrati con quelli derivanti dalla letteratura e dalla cartografia ufficiale esistenti.

Resta inteso che, una volta definite in dettaglio le aree di effettivo intervento, si andrà a verificare la disponibilità locale di informazioni e la loro "qualità": ove queste ricadessero sufficientemente vicine alle future realizzazioni e i dati fossero giudicati significativi ai fini delle progettazioni richieste, si procederà ad un'interpretazione geologico-geotecnica delle stesse e a una discussione delle problematiche connesse.

Nel caso in cui, invece, le prove in questione fossero insufficienti (per "quantità" o "qualità"), si provvederà a programmare le indagini integrative ed interpretare poi i dati finali.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La realizzazione del presente studio è stata eseguita in ottemperanza alle indicazioni fornite dalla normativa vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N. 617

"Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

"Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale".

L.R. 24 MARZO 2000, N. 20

"Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio";

Oggetto n. 2131 approvato dall'Assemblea regionale in data 2 maggio 2007: approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";

L.R. 30 OTTOBRE 2008, N. 19

"Norme per la riduzione del Rischio Sismico".

EUROCODICE 8 (1998)

"Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici. Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 3
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

EUROCODICE 7.1 (1997)

"Progettazione geotecnica – Parte I: regole generali - UNI".

EUROCODICE 7.2 (2002)

"Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI".

EUROCODICE 7.3 (2002)

"Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito - UNI".

D.P.R. 5 GIUGNO 2001, N. 328

Articolo 41 – Attività professionali

“punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica...;”.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La porzione di territorio interessata dal progetto di espansione urbanistica, in adesione al P.O.C. di Concordia sulla Secchia, centro della porzione settentrionale della provincia modenese, posto in destra Secchia, si sviluppa in un comparto a prevalente vocazione rurale.

Essa ricade nell'Elemento n. 183082 "Concordia sulla Secchia Nord" della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000. Le coordinate geografiche ED50 di riferimento rilevate mediante il programma Geostru Parametri Sismici, sono le seguenti:

- longitudine x = 10,995829 [E];
- latitudine = 44,921201 [N].

L'area di futura espansione urbanistica è ubicata nella porzione nord-occidentale dell'abitato di Concordia sulla Secchia e si sviluppa, con andamento NO-SE, tra la Strada Provinciale n° 7 ovvero Via Martiri della Libertà e il Canale Sabbioncello.

Al momento dell'esecuzione della campagna geognostica (Giugno 2011), l'area risultava interessata da colture foraggere; la superficie risulta solcata da scoli e baulature a testimoniare le attuali attività agricole.

Il comparto si sviluppa su di un'area sub-pianeggiante con quote medie di 17,7÷18,1 metri s.l.m., con leggera pendenza in direzione NE.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 4
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

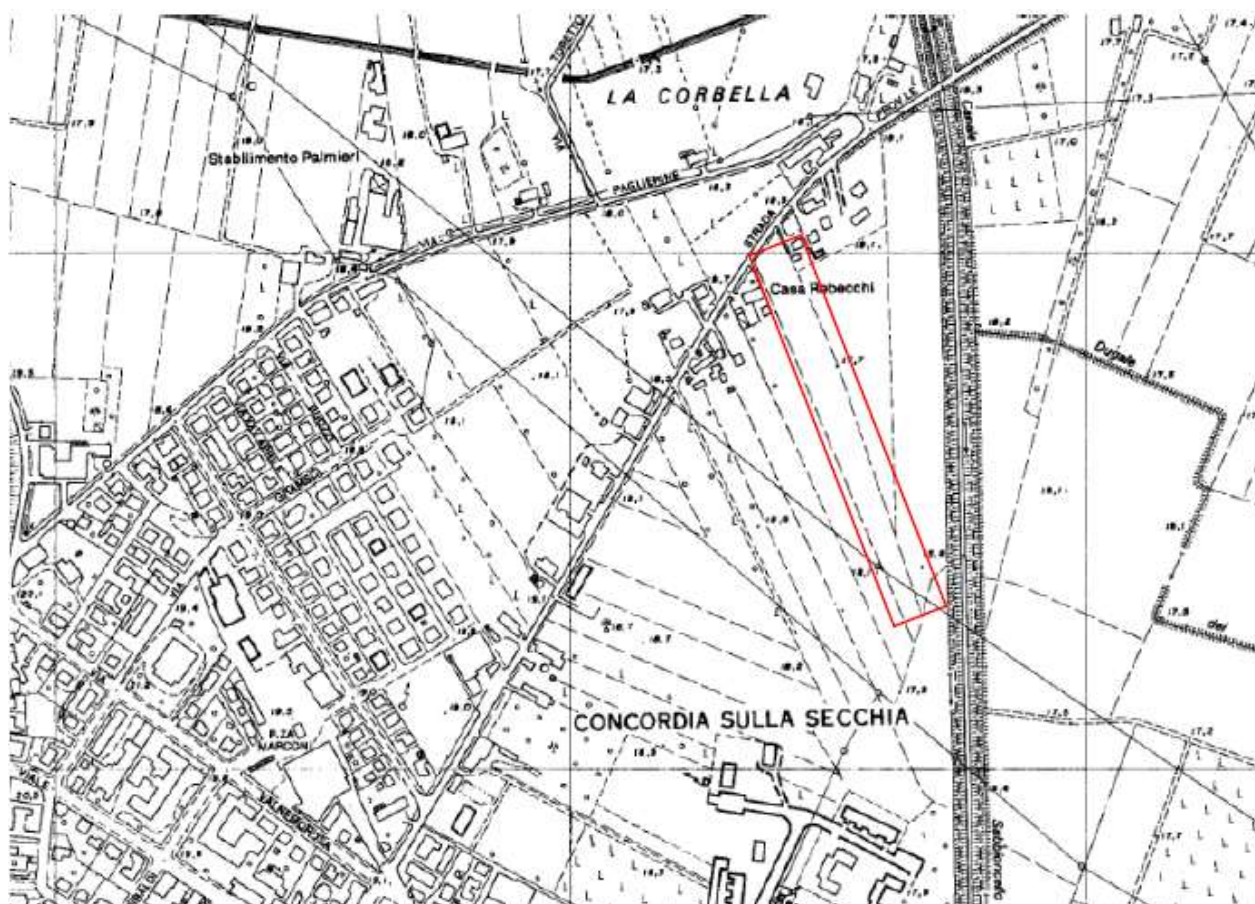


FIGURA 1 – ESTRATTO DI CARTA TECNICA REGIONALE EMILIA-ROMAGNA ELEMENTO N. 183082 "CONCORDIA SULLA SECCHIA"

4. CONTESTO GEOLOGICO REGIONALE

Il territorio del Comune di Concordia sulla Secchia si sviluppa nell'area di bassa pianura modenese. Il contesto geologico in cui si colloca è quello del Bacino padano che strutturalmente rappresenta un'area di avanfossa che si è originata per la subduzione della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico.

L'area in esame si trova nella zona di raccordo tra la parte esterna della catena Appenninica settentrionale, strutturata nel Miocene superiore-Pliocene inferiore, e il settore padano in cui le deformazioni, sepolte, sono prevalentemente del Pliocene superiore e Quaternario. Tali deformazioni sepolte rappresentano il vero fronte appenninico che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta secondo una serie di archi disposti a formare una fascia circa parallela al bordo appenninico.

In particolare la zona in esame si trova in prossimità dell'arco delle Pieghe Ferraresi o Dorsale Ferrarese, che presenta qui una zona di alto strutturale conosciuta come l'alto di Mirandola, dove la base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore è ad una profondità inferiore a -100 metri sul livello del mare.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 5
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

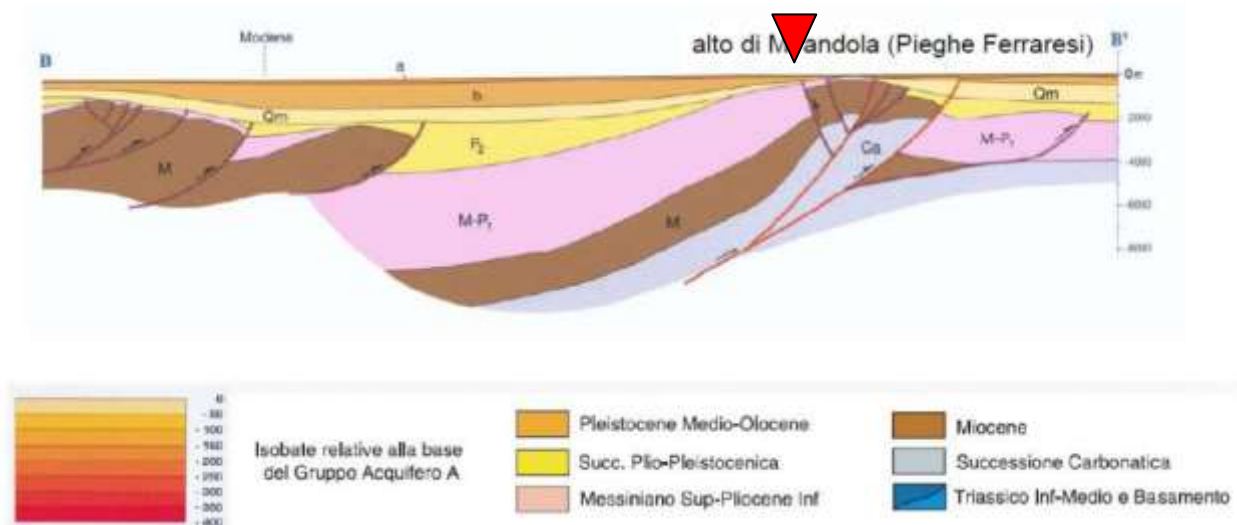
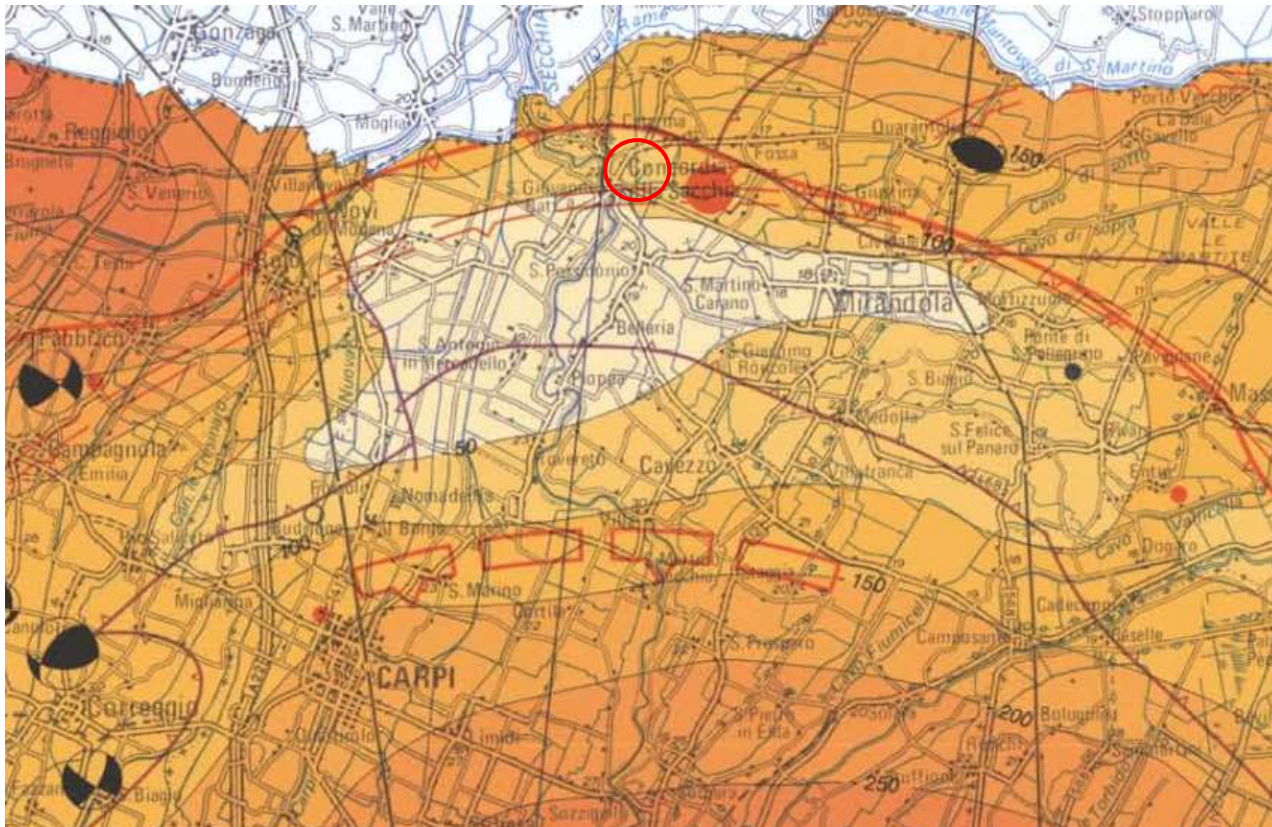


FIGURA 2 – SCHEMA GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO NEL SETTORE DELLE PIEGHE FERRARESÌ.

In arancione sono rappresentate le isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore. Le aree più chiare sono quelle in cui questa superficie stratigrafica è più superficiale. In rosso è rappresentato il fronte dei sovrascorrimenti. In basso è riportata la sezione geologica attraverso la pianura modenese.

Questo settore del bacino del Po è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica che sigillano le strutture deformative.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 6
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

La fase pliocenica viene denominata flysch, in contrasto con i sedimenti di molasse che hanno caratterizzato la fase successiva, nella quale divenne dominante l'input di materiale erosivo proveniente dallo smantellamento della catena Appenninica.

Con il Pleistocene si instaura un nuovo ciclo sedimentario che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata.

Gran parte delle aree in precedenza emerse vengono ricoperte dal mare ed inizia una sedimentazione nettamente sabbiosa. Tale sedimentazione grossolana prosegue poi, ininterrottamente, fino all'Attuale; in essa però si passa da facies torbiditiche di bacino a facies di scarpata, poi costiere ed infine alluvionali, pur rimanendo in termini sabbiosi. Successivamente la sedimentazione diviene esclusivamente continentale, e prosegue con i depositi fluvio-lacustri delle Alluvioni padane.

I sedimenti sabbiosi, limosi e argillosi che riempiono la parte più superficiale del bacino padano, sono stati depositati dal fiume Po e dagli altri tributari che provengono dalla catena appenninica. Nel Pleistocene medio la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia a sedimentarsi il Supersistema Emiliano Romagnolo.

I depositi del Quaternario, soprattutto del Pleistocene medio-superiore, rappresentano degli accumuli disposti in ampie ondulazioni con geometrie lenticolari che indicano il colmamento delle depressioni residue dei bacini pliocenici precedenti.

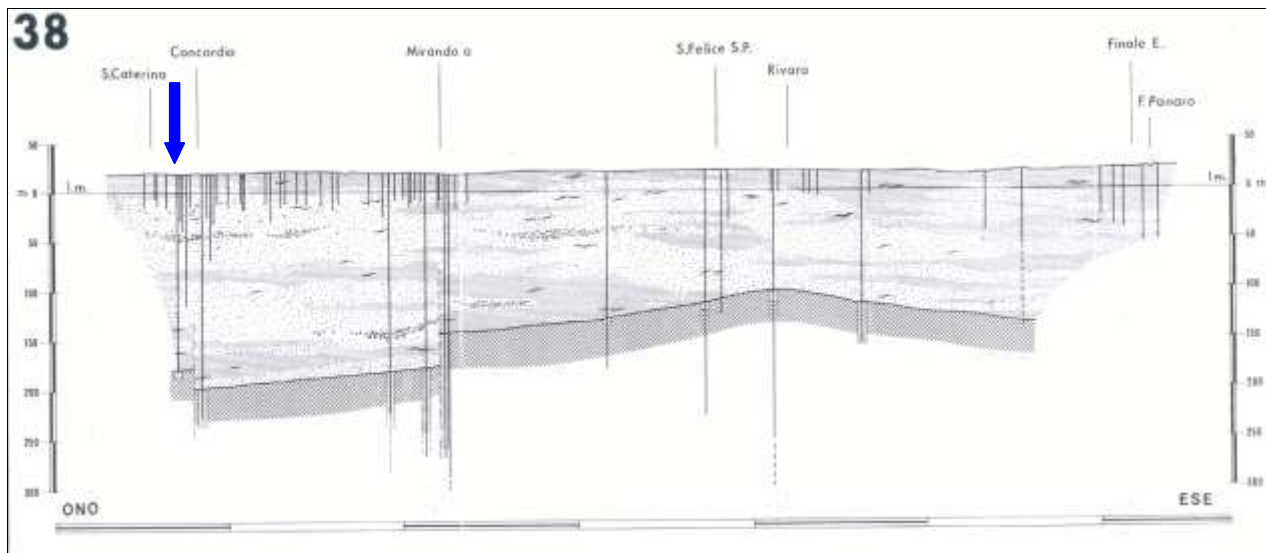


FIGURA 3 – SEZIONE LITOLOGICA DELLA BASSA PIANURA MODENESE; DA VOLUME 28 C.N.R. - I.R.S.A.

L'area di studio risulta influenzata dalle alluvioni del fiume Secchia e in parte del fiume Po. L'area in studio è caratterizzata essenzialmente da depositi continentali alluvionali di età compresa tra il Pleistocene medio sino all'Attuale, legati ad ambienti deposizionali di canale, argine e rotta fluviale o di piana inondabile,

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 7
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

appartenenti, dal punto di vista stratigrafico, al supersintema Emiliano-Romagnolo. I depositi della piana alluvionale, in cui è localizzata l'area in studio, sono quasi sempre fini (limi e subordinatamente argille), sedimentati per accrescimento laterale e verticale, e sabbiosi, corrispondenti a barre di accrescimento laterale, ad argini naturali ed a ventagli di esondazione.

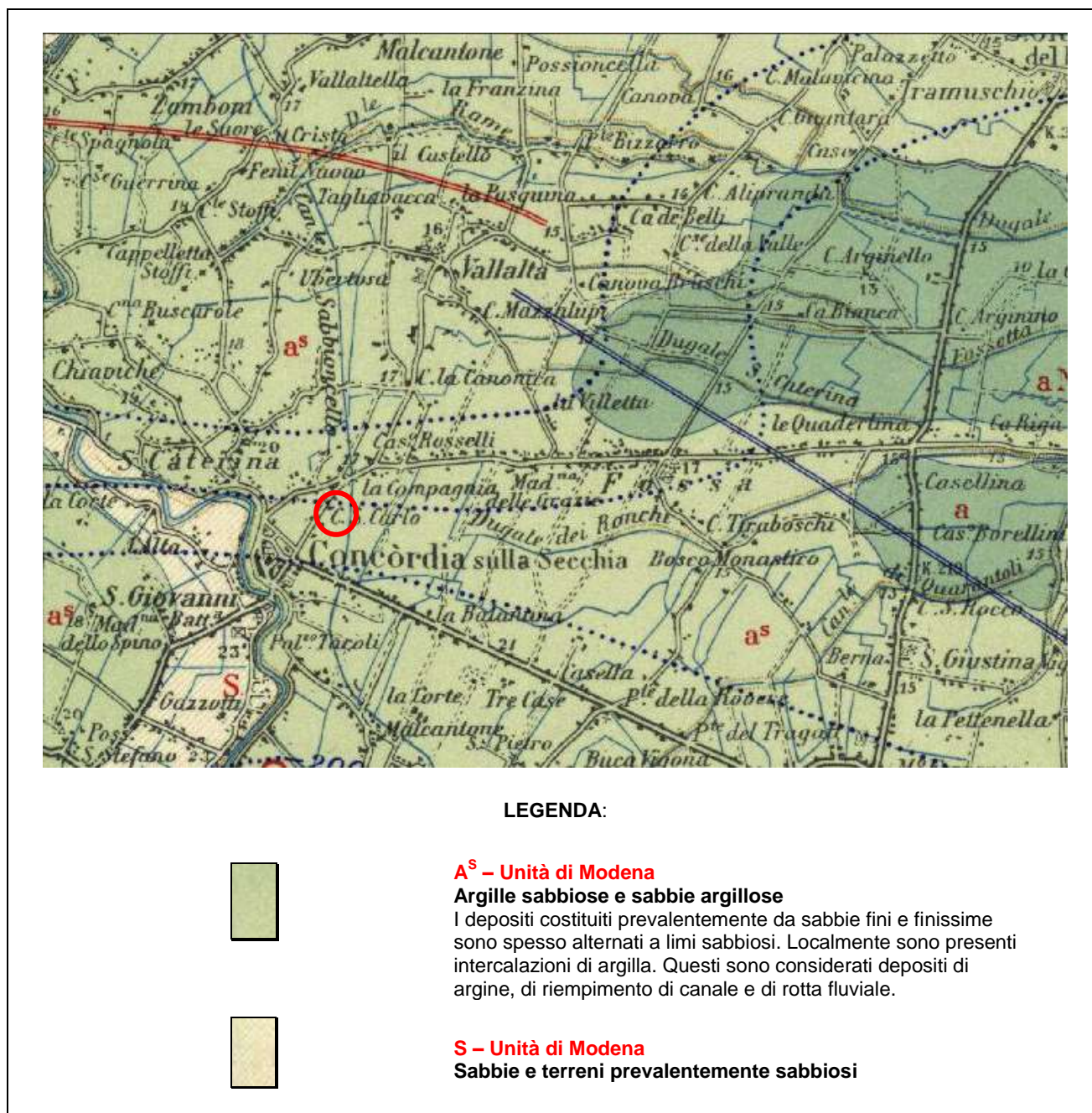


FIGURA 4 – STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA; FOGLIO 75 "MIRANDOLA"

Le sabbie sono generalmente disposte in fasce parallele ai corsi d'acqua attuali, larghe anche qualche centinaio di metri e lunghe qualche chilometro; i depositi limosi ed argillosi hanno un andamento del tutto

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 8
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

irregolare. Le penetrometrie, spinte sino alla profondità massima di 20 metri dal p.c., hanno confermato questa classificazione; infatti, esse hanno evidenziato la presenza di una serie di depositi a componente prevalentemente argilloso-limosa, talora con intercalazioni sabbiose fini, collegata al sistema di paleoalvei del Fiume Secchia, sovrapposta ad una bancata di sedimenti a granulometria sabbiosa, collegata all'attività deposizionale del fiume Po.

Sulla base della cartografia prodotta all'interno del Progetto C.A.R.G., confrontata con le indicazioni riportate nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna e con la Carta Geologica d'Italia, Foglio n° 75 "Mirandola", i depositi che costituiscono il sottosuolo appartengono al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), costituito generalmente dall'alternanza ciclica di argille organiche, limi e sabbie di ambiente alluvionale. Nello specifico, i depositi affioranti sono appartenenti all'Unità di Modena (AES_{sa}), legata ad un ambiente deposizionale di tipo alluvionale; essi risultano costituiti essenzialmente da depositi limosi e limoso-sabbiosi di argine, rotta fluviale e piana inondabile, i quali si aggradano su limi e argille di piana inondabile.

In merito all'assetto geostrutturale, il sottosuolo dell'area pianiziale di questo settore della pianura modenese, appartiene alla regione delle Pieghe Ferraresi e Pieghe Romagnole che assumono una larghezza equivalente a più di 50 km nell'Emilia orientale ed a 25 km nell'area parmense.

Esse rappresentano un elemento strutturale molto complesso (Dorsale Ferrarese), costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate, caratterizzato da un'intensa tettonizzazione che ha determinato un notevole innalzamento del substrato carbonatico mesozoico che, presso Novi (MO) – Concordia sulla Secchia (MO) – Camurana (MO) si rinviene già a -215 metri dal p.c.

La Dorsale Ferrarese è localizzata nell'area centro-orientale della provincia modenese tra il Fiume Secchia e Ferrara; essa presenta vergenza settentrionale e direzione NO – SE.

Le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, Concordia sulla Secchia-Mirandola ed appunto, Correggio-Novì-Camurana-San Felice sul Panaro-Massa Finalese.

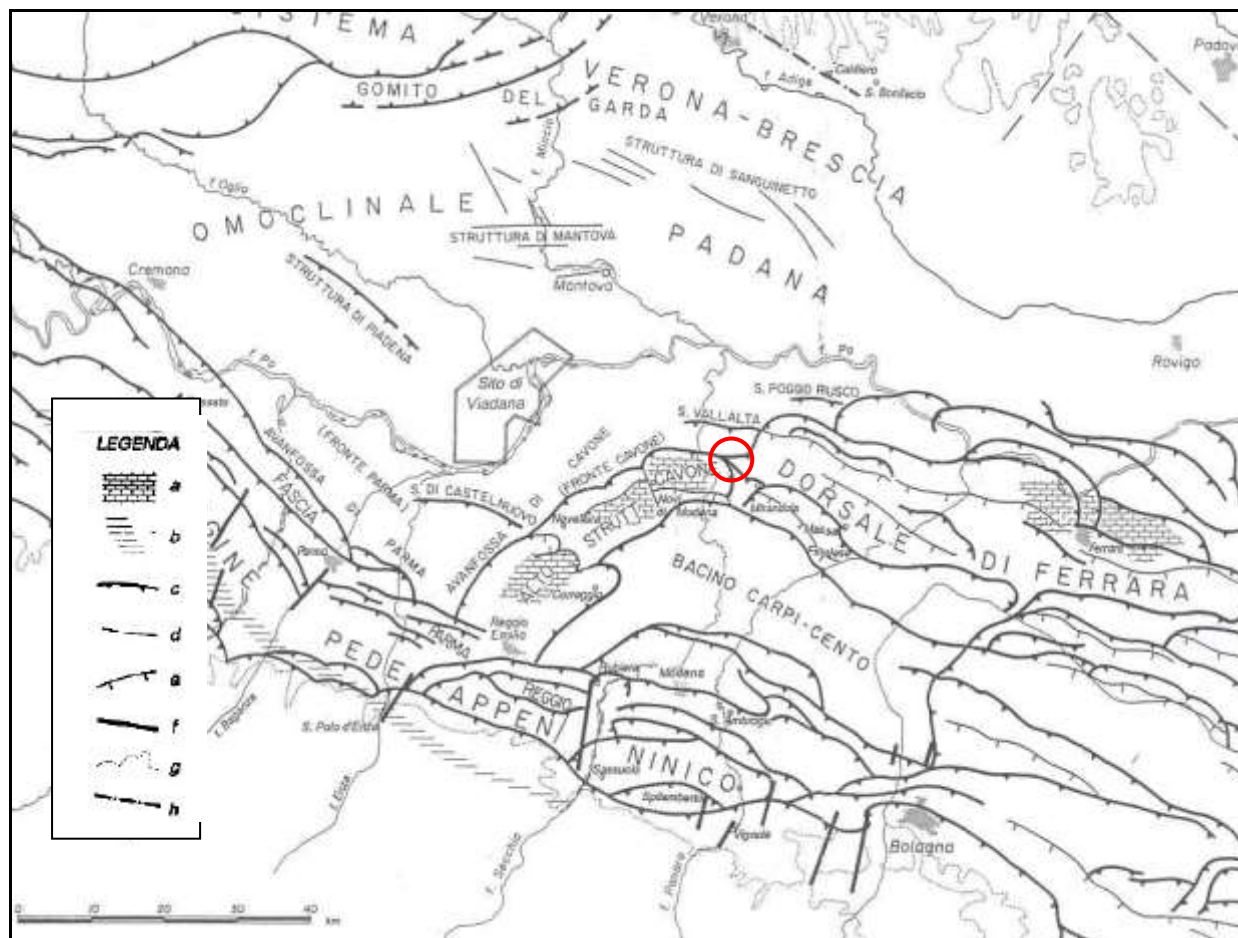
La peculiarità di questo sistema di pieghe è che costituiscono un alto strutturale del substrato calcareo Mesozoico, con riduzione o assenza dei sovrastanti sedimenti terziari, asportati dall'azione dei processi erosivi legati all'emersione dell'area durante il Pleistocene medio.

A Sud della Dorsale si è imposta una zona a forte subsidenza, denominata Bacino Carpi-Cento" o meglio nota come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia". Analizzando le dislocazioni presenti, si ha la riprova che l'area in esame sia stata interessata da tettonica compressiva in quanto ci sono denotate faglie inverse nel fronte della piega a NE e faglie dirette nel fianco opposto a SO, determinate da una fase di rilassamento successiva.

Le dislocazioni verificate riguardano sia le formazioni pre-plioceniche che quelle plioceniche, mentre la copertura quaternaria risulta quasi imperturbata essendo scarsamente interessata da movimenti tettonici.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 9
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------



Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona".

FIGURA 5 – CARTA DEGLI ELEMENTI TETTONICI SIGNIFICATIVI DELL'AREA PADANA CENTRO-ORIENTALE

5. GEOMORFOLOGIA

La caratterizzazione geomorfologia del territorio su cui si sviluppa l'intervento in progetto è stata eseguita sulla base della documentazione bibliografica esistente (CARTA MORFOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA), che colloca il territorio in un quadro di riferimento a scala provinciale, dove gli elementi principali caratterizzanti la morfologia del territorio sono rappresentati dalle forme e depositi fluviali ed, in epoca più recente dall'intervento dell'uomo.

Il territorio di Concordia sulla Secchia appartiene alla fascia della Bassa Pianura Modenese formata dalle alluvioni del Po e dei suoi affluenti appenninici che hanno colmato il Golfo Padano delimitato dagli affioramenti appenninici a Sud e da quelli alpini a Nord. Le caratteristiche evolutive delle aree di bassa pianura concordano con le strutture geomorfologiche osservabili nel territorio di Concordia. Infatti l'assetto

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 - e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 10
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

topografico presenta una conformazione pianeggiante movimentata da ondulazioni ad ampio raggio sia in senso Nord-Sud che Est-Ovest.

Dette forme osservate definiscono corpi allungati contraddistinti dalla presenza di litotipi sabbiosi, limoso-sabbiosi che, unitamente alle caratteristiche del microrilievo, evidenziano depositi attribuibili ad ambienti con energia idrodinamica discretamente elevata concordante con antichi tracciati fluviali naturali.

La frequente corrispondenza riscontrata tra dossi e paleoalvei è spiegabile analizzando il modello evolutivo della pianura olocenica. Nel caso di rotte e tracimazioni le acque si espandono nella pianura depositando, nelle immediate vicinanze dell'alveo, i materiali più grossolani e più lontano decantano, una volta cessato il flusso, i sedimenti più fini. Questi ultimi sedimenti si costipano di più di quelli costituenti l'alveo e si determinano così, già per processi naturali, dei notevoli dislivelli tra fiumi e territori circostanti.

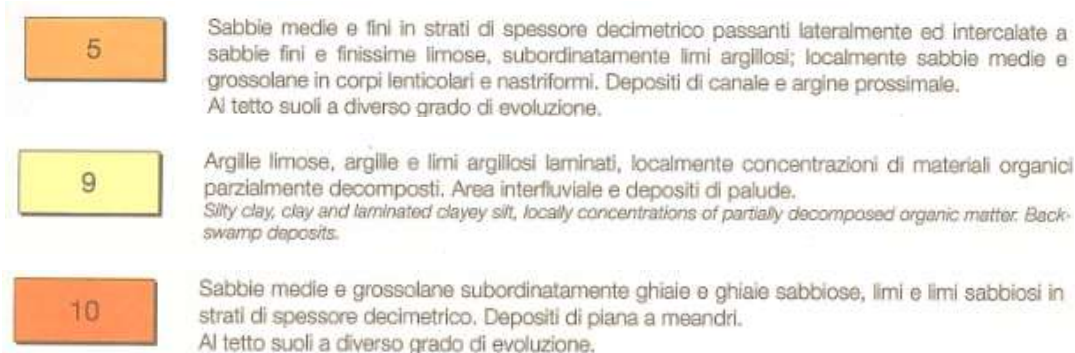
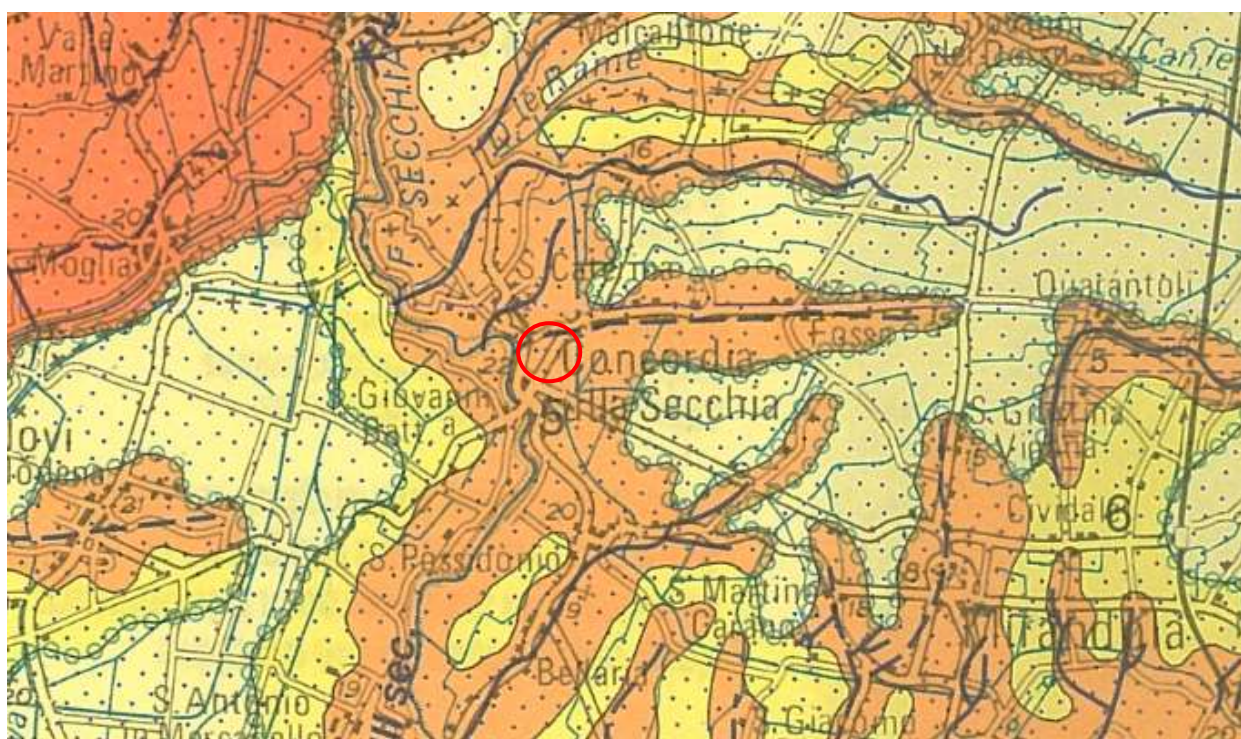


FIGURA 6 – ESTRATTO DI CARTA GEOLOGICA DELL'EMILIA-ROMAGNA (SCALA 1:250.000)

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

Per i corsi d'acqua di pianura, non arginati artificialmente, rotte e tracimazioni sono un fenomeno ricorrente che favorisce i cambiamenti d'alveo; in un bacino subsidente, l'accrescimento della pianura avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di diversi successivi corpi d'alveo, che verticalmente, con il sovrapporsi di successivi cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Risulta così spiegabile nelle sue linee essenziali il particolare panorama altimetrico del territorio esaminato che vede le zone più rilevate in corrispondenza dei corsi d'acqua attuali ed estinti.

L'analisi geomorfologia del territorio in esame evidenzia la presenza di un sistema di paleoalvei ad orientazione prevalentemente in senso SO-NE, parallelo all'attuale corso del Fiume Secchia.

L'assetto geomorfologico descritto consegue dalle passate divagazioni fluviali del Po e dei fiumi appenninici derivate sia da variazioni climatiche che, con tutta probabilità, da movimenti tettonici più o meno recenti che hanno interessato la Dorsale Ferrarese.

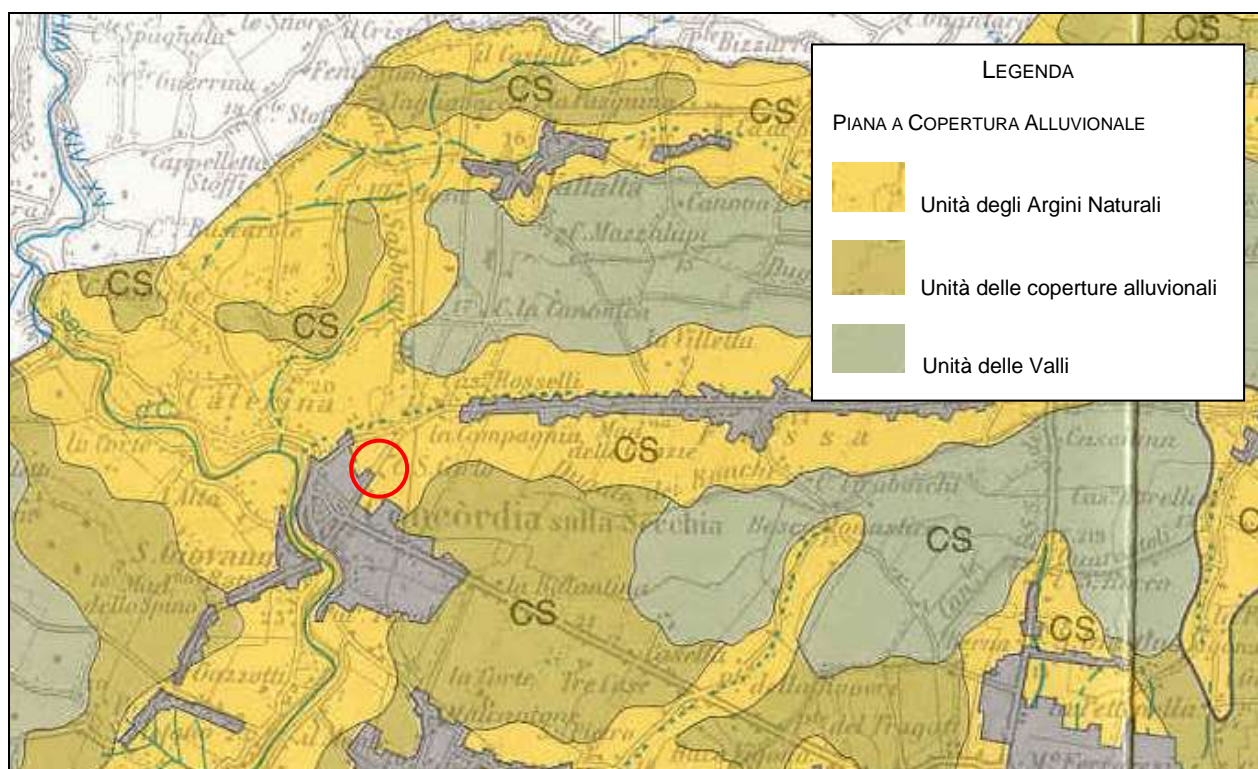


FIGURA 7 – ESTRATTO CARTA UNITÀ GEOMORFOLOGICHE (FONTE: "I SUOLI DELLA PIANURA MODENESE", 1993)

Nel contesto evolutivo geomorfologico del territorio comunale ha esercitato una sensibile influenza l'assetto geostrutturale del substrato prepliocenico e delle formazioni plioceniche.

In conclusione l'evoluzione morfopaesaggistica è legata alle grandi trasformazioni idrografiche del Po e dei fiumi appenninici ed è correlabile prevalentemente ai seguenti fenomeni:

- sovralluvionamento degli alvei fluviali;

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 12
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

- subsidenza differenziata legata al diverso grado di costipamento dei terreni e a fenomeni tettonici profondi;
- conformazione strutturale della Dorsale Ferrarese e relativi spostamenti tettonici che l'hanno interessata.

Nello specifico, dall'esame della *Carta delle Unità Geomorfologiche*, allegata al Volume "*I Suoli della Pianura Modenese*", l'area indagata è cartografata all'interno del Sistema deposizionale di Piana a Copertura Alluvionale, nell'Unità detta "delle Coperture Alluvionali", caratterizzata da alternanze di strati di spessore decimetrico a tessitura moderatamente fine intercalate con strati centimetrici a tessitura moderatamente grossolana.

In merito alle caratteristiche pedologiche dell'area indagata, dalla consultazione della cartografia prodotta nell'ambito di "*I suoli della pianura modenese*", si evidenzia la presenza di suoli molto profondi, a tessitura fine, riferibili al *complesso di San Omobono franca limosa*; si tratta di suoli prevalentemente limosi, molto calcarei e fortemente alcalini, a tessitura fine non stratificati, localizzati in ambienti di argine naturale di canali fluviali. In essi la falda estiva è stata rilevata frequentemente tra 170-200 cm di profondità; la permeabilità è moderata e la capacità di accettazione delle piogge è molto alta.

Il raffronto dei dati bibliografici rispondenti alla vecchia rete altimetrica fondamentale (1877-1903) con quelli relativi alla successiva rete (1950-1956) colloca il territorio gestito dal Consorzio della Bonifica Burana tra le isocinetiche -10 e -15 cm, per cui *in circa 50 anni si è verificato un abbassamento mediamente valutabile in 10-15 cm* (Unguendoli M., 2001).

E' inoltre noto l'accentuarsi dei movimenti verticali in tutta la Pianura Padana negli anni '70 con una tendenza all'attenuazione negli ultimi decenni.

L'andamento degli abbassamenti lungo la linea Bologna-Ferrara, stimati per il periodo 1992-1999, mostra che le zone limitrofe al Comprensorio sono caratterizzate da un abbassamento medio di circa 5 mm/anno.

I più recenti dati pubblicati da ARPA Emilia-Romagna (disponibili sul sito web dell'Agenzia) relativi ai periodi 1992-2000 e 2000-2006, confermano il quadro sopra descritto.

Nelle cartografie di ARPA il territorio del Comune di Concordia sulla Secchia viene classificato come area caratterizzata da velocità di abbassamento del suolo compresa tra 0-5 mm/anno.

In sintesi dal punto di vista geomorfologico si è appurato che il sito d'intervento ricade in un contesto di pianura alluvionale essenzialmente stabile e consolidato, nel cui ambito non si sono rilevati fenomeni erosivi e/o d'evoluzione morfologica d'entità apprezzabile.

In base alle informazioni raccolte in sito non si evidenziano particolari problemi collegati al deflusso e/o smaltimento delle acque superficiali. Attualmente la tendenza evolutiva naturale del territorio è relativamente conservativa in considerazione del fatto che le principali linee di drenaggio sono regimate dall'uomo.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 13
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

6. ASSETTO IDROGEOLOGICO REGIONALE

Inquadramento idrostratigrafico

In "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna", (RIS d'ora in poi) viene presentata per la prima volta a scala dell'intera regione una stratigrafia dei depositi quaternari continentali e marino marginali presenti nel margine appenninico e nel sottosuolo padano, che inquadra questi depositi nel quadro evolutivo del sollevamento della catena appenninica e del simultaneo riempimento del bacino padano - adriatico.

Lo studio è stato condotto attraverso l'analisi dei dati della sismica industriale di ENI-AGIP, tarati con le stratigrafie dei pozzi per idrocarburi e dei pozzi per acqua più profondi tra quelli disponibili nella banca dati geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Nell'inquadramento stratigrafico proposto tutti i depositi quaternari marini affioranti e sepolti presenti nella Regione Emilia-Romagna sono inseriti nel "Supersistema del Quaternario marino", e tutti i depositi continentali affioranti e sepolti vengono inseriti nel "Supersistema emiliano-romagnolo"; quest'ultimo è suddiviso in due unità denominate "Sistema emiliano-romagnolo inferiore" e "Sistema emiliano-romagnolo superiore". Dette unità sono separate tra loro da superfici di discontinuità stratigrafica, che sui principali fronti di accavallamento della catena corrispondono a discordanze angolari osservabili sia in affioramento (sul margine appenninico) che in sismica (sul margine appenninico, e sui fronti della catena sepolta); i limiti tra le unità corrispondono quindi a fasi di attivazione tettonica.

A queste unità stratigrafiche corrispondono altrettante unità idrostratigrafiche che vengono utilizzate per lo studio del sottosuolo; le corrispondenze tra le unità sono le seguenti (cfr. Figura 8):

- "Supersistema del Quaternario marino" corrisponde al "Gruppo acquifero C";
- "Sistema emiliano-romagnolo inferiore" corrisponde al "Gruppo acquifero B";
- "Sistema emiliano-romagnolo superiore" corrisponde al "Gruppo acquifero A".

Grazie alla gran mole di dati sismici messi a disposizione, è stato possibile ricostruire la profondità del limite basale dei tre gruppi acquiferi.

Gli andamenti dei limiti basali delle tre unità siano chiaramente influenzati dai principali fronti di accavallamento della catena sepolta, e come, conseguentemente, lo spessore delle unità sia maggiore nelle sinclinali e minore sulle anticlinali.

Lo spessore di ciascuno dei gruppi acquiferi è generalmente dell'ordine di alcune centinaia di metri.

Al disopra dei limiti basali delle unità idrostratigrafiche sopra descritte si individuano dei potenti intervalli argilloso – limosi spessi sino ad alcune decine di metri, caratterizzati da geometria tabulare e da una continuità laterale di estensione regionale, che può essere interrotta solamente nelle zone di alto strutturale.

Questi corpi fini costituiscono delle barriere di permeabilità (acquitardo o acquicludo) realmente continue e fanno sì che i tre gruppi acquiferi siano tra loro isolati idraulicamente, e che pertanto il flusso idrico rimanga

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 14
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

confinato all'interno della medesima unità, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta dei gruppi acquiferi di cui si dirà più oltre.

I complessi acquiferi vengono denominati con un numero progressivo dall'alto stratigrafico verso il basso, posto dopo il nome del gruppo acquifero. In generale si osserva che ogni complesso acquifero è costituito da una porzione inferiore prevalentemente fine seguita da una superiore prevalentemente grossolana; lo spessore di ogni complesso acquifero è dell'ordine di alcune decine di metri.

All'interno di ogni complesso acquifero la porzione grossolana viene denominata sistema acquifero, la porzione fine sistema acquitardo.

Questi livelli a bassa permeabilità causano un'ulteriore compartimentazione all'interno dei tre gruppi acquiferi e fanno sì che i diversi complessi acquiferi siano tra loro isolati idraulicamente, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta di queste unità.

I lavori svolti nell'ambito della realizzazione della Carta Geologica di Pianura, hanno permesso di dettagliare ulteriormente la stratigrafia proposta in RIS.

In particolare si è distinta una unità superficiale denominata A0,

posta superiormente ad A1; questa unità corrisponde a depositi di età pleistocenica terminale ed olocenica, sedimentatisi dopo l'ultima glaciazione.

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE							
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO						
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILLUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE FLUMIO - LAQUISTRE	UNITÀ DI VILLA DEL BOSCO	UNITÀ DI BORGIO PANIGALE	-0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A1					
								A2					
	DILLUVIUM P.P.	UNITÀ DI GIÀ DI SOLA	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLI	UNITÀ DI BORGIO PANIGALE	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO		B1					
								B2					
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GALLE di IMOLA p.p.	FORMAZIONE FLUMIO - LAQUISTRE	UNITÀ DI VILLA DEL BOSCO	UNITÀ ALLUVIONALE INFERIORE	~0.65	0.89	C	C1					
								MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GALLE di IMOLA p.p.	SUPER SISTEMA QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	~0.8	PLEISTOCENE INFERIORE	C2
													CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.
								CALABRIANO d.d. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	~2.2	3.55	C4	
												P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.
P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPER SISTEMA MEDIO-SUPERIORE	PILOCENE MEDIO SUPERIORE	~3.9	3.55	ACQUITARDO BASALE	C5						

FIGURA 8 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO ED IDROSTRATIGRAFICO (R.E.R., ENI-AGIP, 1998)

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 - e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 15
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

L'unità A0 comprende quindi i depositi presenti nel primo sottosuolo della pianura, nonché gran parte di quelli affioranti. Le porzioni grossolane di A0 sono costituite da corpi non molto estesi, volumetricamente poco rilevanti, e, quando non sono amalgamate a depositi permeabili dell'unità A1, costituiscono degli acquiferi sfruttati esclusivamente a fini domestici.

Alla luce di quanto sopra detto l'intero acquifero regionale è pertanto costituito da un complesso sistema multifalda, caratterizzato dalla gerarchizzazione degli acquiferi e degli acquitardi più sopra descritta. Tutte le falde presenti sono in condizioni confinate, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta degli acquiferi. Questo inquadramento strutturale sostituisce il modello di acquifero che considerava i livelli impermeabili presenti nel sistema come non continui, e pertanto l'intera pianura emiliano-romagnola veniva assimilata ad un acquifero monostrato con un'unica falda in continuità, libera, parzialmente confinata o in pressione procedendo da ovest verso est.

Dall'esame delle sezioni idrostratigrafiche tratte da RIS, riferite all'area oggetto di studio, emerge, innanzitutto, la grande influenza esercitata dalla dorsale ferrarese, che provoca un forte assottigliamento dello spessore dei singoli gruppi, con profondità della base del gruppo acquifero A, che in corrispondenza dell'asse di tale elemento strutturale risulta inferiore ai 100 m; analogamente, la base dell'acquifero B passa da un massimo di 500÷550 m ad un minimo di 150÷120m da p.c. Un altro aspetto molto evidente è che, nel settore più vicino al fiume Po, la percentuale di strati permeabili è molto alta, mentre, più a sud, essi tendono ad assottigliarsi, fino a formare lenti di limitato spessore senza continuità laterale.

Dinamiche delle acque sotterranee

Sulla base del quadro idrostratigrafico precedentemente descritto, per la descrizione della dinamica delle acque sotterranee bisogna distinguere tra la circolazione che avviene nei terreni più superficiali, appartenenti al complesso acquifero A0, e, quella relativa agli orizzonti sabbiosi depositati dal fiume Po, appartenenti al complesso acquifero A1.

Circolazione superficiale nel Complesso Acquifero A0

Il primo sottosuolo dell'area in studio è costituito da depositi prevalentemente fini, a litologia limosa e/o argillosa, caratterizzati da bassi valori di permeabilità. Solo, localmente, sono presenti lenti costituite da materiali, più grossolani, con abbondanti percentuali di sabbie, e, quindi, più permeabili.

La circolazione idrica, ovviamente, risulta strettamente condizionata da tale assetto litostratigrafico: le falde hanno sede nei piccoli corpi acquiferi lentiformi, mentre nei terreni che li circondano, l'acqua si infiltra con tempi estremamente lunghi.

Circolazione nel Complesso Acquifero A1

La situazione idrodinamica è molto differente per quel che concerne i depositi sabbiosi sedimentati dal fiume

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 16
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

Po che, nella porzione in studio del territorio di Mirandola, si rinvengono a partire da profondità generalmente comprese tra 10 e 15 m da p.c, formando un elemento continuo arealmente.

L'elevata permeabilità di questi depositi consente, infatti, una buona circolazione idrica per cui essi possono essere accorpati in un unico acquifero.

Dagli studi effettuati è emerso che la falda che ha sede nel primo banco di sabbie di Po risulta in pressione, con una salienza di 5÷10 m rispetto al tetto dell'acquifero.

7. PROGRAMMA DELLE INDAGINI

7.1 Premessa

Al fine di definire lo schema litostratigrafico, geomeccanico ed idrogeologico del primo sottosuolo e in ottemperanza al D.M. 14 Gennaio 2008, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche così articolata:

- n. 6 prove penetrometriche di tipo statico con punta meccanica (CPT), spinte sino alla profondità massima di 20,0 metri dal piano campagna esistente, quota che per i tipi di terreno indagato e per il tipo di intervento in progetto è stata ritenuta soddisfacente ai fini del concetto di "volume significativo"; all'interno dei perfori è stata eseguito il rilievo della falda freatica, mediante l'utilizzo di freatometro;
- per la definizione della pericolosità sismica di base del sito, ai sensi del § 3.2 N.T.C. e § C3.2 della Circolare, è stata eseguita un'indagine geofisica basata sulla misura del rumore sismico (microtremore) del sottosuolo, mediante l'utilizzo di strumentazione tromografica portatile, finalizzata alla stima delle frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo e dell'amplificazione sismica del sito mediante il rapporto HVSR.

Per la definizione della V_{S30} è stata eseguita un'indagine geofisica MASW, basata sull'analisi della propagazione delle onde superficiali, ed in particolare delle onde di Rayleigh.

I relativi dettagli sono riportati in allegato, in cui è anche riportata la planimetria con l'ubicazione dei punti di indagine.

7.2 Prova penetrometrica statica (CPT)

La prova penetrometrica è stata realizzata mediante penetrometro statico olandese tipo Gouda (tipo meccanico), con spinta massima nominale di 20 ton., munito di speciale punta Begemann, con le seguenti caratteristiche: Ø punta 35,7 mm, angolo di apertura 60°, area base 10 cm²; manicotto laterale di frizione tipo Begemann con Ø di 36 mm, lunghezza 13,3 mm, area laterale 150,42 cm². La prova penetrometrica statica

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 17
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

CPT (Cone Penetration Test) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione offerta dal terreno alla punta meccanica tipo Begemann, sopra descritta, con dimensioni e caratteristiche standard ed infissa nel terreno a velocità costante; la punta conica di tipo telescopico (punta Begemann) è dotata di un manicotto esterno scorrevole e permette di valutare, per ogni 20 cm di infissione, i seguenti parametri: resistenza alla punta R_p (kg/cm^2): si riferisce ai valori di resistenza offerta dal terreno all'avanzamento della punta e resistenza all'attrito locale laterale R_l (kg/cm^2), ai valori di resistenza offerta dal terreno per attrito sul manicotto che segue immediatamente la punta.

L'elaborazione dei valori di resistenza all'infissione caratteristici dei vari livelli del sottosuolo, fornisce utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati sulla base del rapporto R_p/R_l fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (Rapporto di Begemann 1965 – Raccomandazioni A.G.I. 1977) ovvero sulla base dei valori di R_p e del rapporto $FR = R_l/R_p \%$ (esperienze di Schmertmann 1978).

Nei casi dubbi nell'applicazione del rapporto R_p/R_l , si è proceduto a scelte litologiche con validità orientativa, sulla base di esperienze e correlazioni eseguite precedentemente su altri siti, che possono essere così sintetizzate:

- $7 < R_p < 20 \text{ kg}/\text{cm}^2$: possibili terreni coesivi in genere anche se $R_p/R_l < 15$
- $R_p \leq 20 \text{ kg}/\text{cm}^2$: possibili terreni coesivi anche se $R_p/R_l > 30$
- $R_p \geq 20 \text{ kg}/\text{cm}^2$: possibili terreni granulari anche se $R_p/R_l < 30$

Si rammenta tuttavia, che, sebbene l'indagine penetrometrica tipo CPT fornisca dati geotecnici attendibili, le informazioni sulla natura litologica e granulometrica dei terreni derivano sostanzialmente da correlazioni del tipo empirico.

Nell'interpretazione dei risultati, le prove penetrometriche vengono assimilate a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito e, nella definizione del comportamento geotecnico, è stata adottata una distinzione fondamentale fra terreni incoerenti (resistenza al taglio caratterizzata dal solo angolo di attrito) e terreni fini (resistenza al taglio caratterizzata soprattutto dall'esistenza di legami coesivi).

Parametri geotecnici

I valori di resistenza unitaria locale di punta R_p e laterale R_l possono essere empiricamente correlati, oltre alla granulometria, anche ad alcune delle caratteristiche geotecniche del terreno indagato; i dati ricavati da tali correlazioni sono riportati nei tabulati allegati ove si è altresì schematizzata le successioni stratigrafiche.

I parametri geotecnici di interesse, ritenuti significativi sono:

PARAMETRI GEOTECNICI		COMPONENTE GEOTECNICA	RELAZIONI
C_u (kg/cm^2)	Coesione non drenata	Coesivo	Lunne (1977)

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 18
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Dr (%)	Densità relativa	Incoerente	Schmertmann (1976)
φ (°)	Angolo di resistenza al taglio	Incoerente	Durgunoglu – Mitchell (1973-1975)
Eed (kg/cm²)	Modulo edometrico	Incoerente	Robertson-Powell (1997)
		Coesivo	Metodo generale del modulo edometrico
G (kg/cm²)	Modulo di deformazione al taglio	Incoerente	Imai-Tomauchi
		Coesivo	
OCR (kg/cm²)	Grado di sovraconsolidazione	Incoerente	Stress History
		Coesivo	
Eu (kg/cm²)	Modulo di deformazione non drenato	Coesivo	Cancelli (1980)
Ey (kg/cm²)	Modulo di Young	Incoerente	ISOPT-1 (1988)
γ e γ_{sat} (t/m³)	Peso di Volume	Incoerente	Meyerhof
		Coesivo	Meyerhof et altri

7.3 Misura a stazione singola del microtremore sismico

La metodologia proposta di misura a stazione singola del microtremore sismico, mediante una strumentazione quale il tomografo portatile denominato TROMINO®, permette la misura della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la V_{s30} , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti.

La tecnica maggiormente consolidata per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico generato in un sito, è quella dell'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti del moto sismico orizzontali e verticali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V - NOGOSHI E IGARASHI, 1970).

Il codice utilizzato per la creazione di curve H/V sintetiche si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie di Rayleigh e Love in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (AKI, 1964 - BEN-MENAHEM E SINGH, 1981), considerando che l'onda sismica viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due mezzi (litotipi) a rigidità differente, con la determinazione di un contrasto di impedenza.

L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore H del primo strato: la frequenza fondamentale di risonanza F_r relativa alle onde S risulta pari a $F_r = V_s / 4H$. In questo modo l'esito della misura tomografica, opportunamente calibrato con i risultati della prova penetrometrica, fornisce un ulteriore e utile supporto alla ricostruzione del sottosuolo ed alla stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di sottosuolo investigato.

La stima delle frequenze amplificanti del terreno, infine, consente una preliminare valutazione delle eventuali "doppie risonanze" con le tipologie di manufatti in progetto.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 19
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

7.4 Indagine geofisica MASW

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della categoria di sottosuolo in base al valore delle Vs è la sismica a rifrazione attiva elaborata mediante metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): essa permette di modellizzare il sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (Park et alii, 1999). Il metodo consente di stimare la velocità delle onde di taglio (Vs) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula:

$$\mu = V_s^2 \rho$$

dove:

- ρ = densità;

Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di Vs sono i primi indicatori della rigidità di un terreno.

Le onde Rayleigh sono onde di superficie e sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (Sv) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza (no dispersione). Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. L'ampiezza dello spostamento decresce con legge esponenziale; per questo diviene rapidamente trascurabile con la profondità. La propagazione di queste onde non è influenzata dalle caratteristiche del mezzo al di sotto di una profondità pari a λ . Esse possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate: una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità. Il vantaggio di utilizzare il metodo MASW sta nel fatto che non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità in profondità; ha una buona risoluzione e poi perché la propagazione delle onde Rayleigh è funzione soprattutto delle Vs (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito). Esso è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per la onde Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo ed isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di circa $\lambda/2$. Tale velocità delle onde di Rayleigh (Vr) è pari a circa il 90% delle onde di taglio Vs.

Per le indagini è stato utilizzato un tromografo digitale portatile TROMINO, prodotto da Micromed S.p.A., nella versione Engineering, combinato con un trigger wireless equipaggiato di puntale, con frequenza propria

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 20
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

di 4,5 Hz. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le tre componenti spaziali (N-S, EW e Up-Down), che consentono di acquisizione digitale in alta definizione delle vibrazioni del terreno (ampiezze d'onda inferiori a 10 µm), nel campo delle frequenze 0 – 200 Hz. In seguito ad una registrazione di un determinato tempo t, tale segnale digitalizzato viene elaborato tramite un software dedicato, Grilla, il quale esegue un'elaborazione per ognuna delle componenti del moto e ne fornisce i grafici relativi.

L'abbinamento tra Tromino Engy e il trigger wireless consente di effettuare stendimenti sismici senza limitazioni di estensione. La presenza di un unico geofono, detto starter in quanto registra i primi arrivi delle onde sismiche, impone il suo spostamento continuo secondo le posizioni dello schema prestabilito.

Lo stendimento aveva una lunghezza di 48 m con il primo geofono a distanza di 2,0 m dal Tromino mentre l'interdistanza tra le altre posizioni del geofono era di 2,0 metri; l'energizzazione, ottenuta tramite un salto effettuato dall'operatore, è avvenuta a 1,0 m di distanza dallo starter lungo l'asse geofono-Tromino.

Da tale stendimento viene elaborato un sismogramma definito "virtuale" in quanto non deriva dalla registrazione simultanea di più geofoni, ma i segnali di ogni energizzazione vengono composti in un unico sismogramma tramite software dedicati.

L'elaborazione del segnale registrato si compone dei seguenti passaggi:

1. picking dei primi arrivi sulla traccia di registrazione del geofono;
2. ricostruzione del sismogramma delle tracce registrate dal sismografo (Tromino) tramite software Grilla;
3. selezione per ogni traccia delle finestre temporali contenenti onde superficiali di Rayleigh;
4. calcolo della curva di dispersione sperimentale tramite software dedicato.

La curva di dispersione fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate).

Si è optato di utilizzare la prospezione sismica mediante prove MASW poiché tale metodologia offre il vantaggio di fornire il profilo di velocità delle onde di taglio oltre i 30 metri di profondità, consentendo di individuare il tipo di suolo sismico, e, a differenza della sismica a rifrazione, può essere utilizzata in qualsiasi situazione stratigrafica pseudorizzontale, anche in presenza di falda e terreni saturi.

8. MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Modello stratigrafico locale

L'area interessata dall'intervento edilizio in progetto insiste su una porzione della bassa pianura mantovana originata dall'attività deposizionale dei fiumi Po e Secchia, mediante processi di accrezione sia orizzontale, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticale, causa di continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Ne risulta che un profilo verticale di questo settore di pianura, risulta generalmente costituito

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 21
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

da un intrecciarsi di lenti sabbiose da grossolane a fini, corrispondenti a corpi d'alveo sepolti (argini naturali) e da sedimenti a tessitura fine, determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto del settore di pianura investigato, sono quindi strettamente legati ai processi strutturali e di sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo.

Nello specifico, sono individuabili due classi di sistemi deposizionali:

- pianura alluvionale ad alimentazione appenninica;
- pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po).

La Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica si estende lungo l'asse del F. Secchia, fino a qualche chilometro a sud dell'asse fluviale attuale del Po. Il sistema deposizionale è caratterizzato da depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi sabbiosi. Il rapporto tra materiali grossolani e fini risulta generalmente inferiore all'unità.

Oltre i 15÷20 metri di profondità dal piano campagna il limite settentrionale della Pianura alluvionale ad alimentazione appenninica, si trova in posizione più meridionale rispetto al limite riscontrabile nello strato superficiale. In profondità si rinvencono, infatti, potenti bancate sabbiose, riferibili ad antichi paleoalvei del fiume Po, attribuibili al Sistema deposizionale della Pianura alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po). Questa si estende dall'asse del Fiume Po per circa qualche chilometro in direzione sud.

L'elaborazione delle prove penetrometriche CPT eseguite in sito ha permesso di risalire alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo secondo l'interpretazione di Searle (1979) e Robertson (1986, 1990).

Dall'esame dei dati di lettura, sono state ricostruite le curve che si riferiscono alla resistenza alla punta (curva Qc), alla resistenza all'attrito laterale locale (curva fs), le cui rappresentazioni grafiche vengono riportate nei diagrammi allegati.

Dal rapporto Qc/fs si è giunti alla classificazione dei terreni mediante l'applicazione della teoria di Searle (1979); in particolare è stata realizzata una interpretazione basata unicamente sui rapporti meccanici.

La metodologia di Robertson (1986) e (1990) si basa sulla definizione dell'Indice di Comportamento (Ic), la cui variazione permette di distinguere le seguenti tipologie di suolo:

Tipo di Suolo	Indice Ic
Terreni Organici	Ic > 3,60
Argilla (da argilla limosa a limo argilloso)	2,95 < Ic < 3,60
Miscela di limo (da limo argilloso ad argilla limosa)	2,60 < Ic < 3,95
Miscela di sabbie (da sabbia limosa a limo sabbioso)	2,05 < Ic < 2,60
Sabbie (da pulite a limose)	1,31 < Ic < 2,05

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 22
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Le indagini eseguite hanno evidenziato, al di là della normale variabilità da attendersi in un contesto sedimentario di pianura, la generale presenza delle sabbie del Po ad una profondità generalmente superiore a 11/12 metri, con la sola esclusione della prova CPT1, in corrispondenza della quale il tetto del corpo sabbioso è stato intercettato già alla profondità di 8,40 metri, preceduto da sabbie argillose.

I depositi sabbiosi del Po sono sovrastati da una successione di sedimenti limoso-argillosi entro la quale si intercalano localmente anche strati con caratteristiche di resistenza tipici delle sabbie "sporche", ovvero con componente significativa di limo-argilloso.

Pertanto, si riscontra la presenza di depositi prevalentemente a granulometria fine, a comportamento geotecnico di tipo coesivo, costituiti da alternanze di livelli argilloso-limosi ed argillosi, di natura inorganica con consistenza variabile, da soffice a plastica, sovrapposti al potente litosoma dapprima limoso sabbioso e sabbioso e sabbioso-limoso in profondità, tipico dell'area investigata, a comportamento geotecnico di tipo granulare/incoerente, da mediamente addensati a molto addensati.

Si segnala nella porzione più superficiale la presenza di depositi argilloso-limosi sovraconsolidati per essiccazione, talora piuttosto compatti; tale livello geomeccanico, in stretta correlazione con l'escursione della falda freatica e/o della sua risalita per capillarità può risultare suscettibile di variazioni in volume conseguentemente a cambiamenti del tenore di umidità e alla soggiacenza della falda freatica stessa; pertanto, se interessato da sollecitazioni anche di non rilevante entità, potrebbe essere soggetto a rotture differenziate.

Nel dettaglio è possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica del sottosuolo, escludendo i primi 40/60 cm circa costituiti da materiale di riporto:

Unità A – da 0,60 metri a 2,40/4,80 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico misto granulare/coesivo

Classificazione di Searle – Limo argilloso-sabbioso e sabbia argilloso-limosa sciolti;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,60 e 2,90: tale deposito è classificabile come argilla (da argilla limosa ad argilla). Il contenuto in fine espresso in percentuale FC% calcolato mediante la metodologia di Robertson (1987) è compreso mediamente tra 20 e 45%;

Unità B – da 2,40/4,80 metri a 8,20/10,20 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico di tipo coesivo

Classificazione di Searle - Fitte alternanze di livelli costituiti da argilla limosa e limi argillosi di consistenza plastica;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,95 e 3,30: tale deposito è classificabile come argilla (da argilla limosa ad argilla) e miscela di limo (da limo argilloso ad argilla limosa);

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 23
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Unità C – da 8,20/10,20 metri a 14,80/16,20 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico di tipo misto coesivo/granulare-incoerente

Classificazione di Searle - Fitte alternanze di livelli costituiti da limo argilloso-sabbioso e sabbia argilloso-limosa, mediamente addensata;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,05 e 2,40: tale deposito è classificabile come miscela di sabbia (da limi sabbiosi a sabbie limose).

Il contenuto in fine espresso in percentuale FC% calcolato mediante la metodologia di Robertson (1987) è compreso mediamente tra 18 e 35%;

Unità D – da 14,80/16,20 metri a 20,00 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico granulare/incoerente

Classificazione di Searle – Sabbia e sabbia limosa da mediamente addensata ad addensata;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 1,70 e 2,00: tale deposito è classificabile come sabbia (da sabbia pulita a sabbia limosa) e miscela di sabbia (da sabbia limosa a limo sabbioso). Il contenuto in fine FC espresso in percentuale %, è compreso tra 10 e 25%.

Assetto idrogeologico locale

Sulla scorta delle risultanze derivanti dall'analisi dei dati desunti dalle indagini prese a riferimento, è stato possibile ricostruire il sottosuolo investigato dal punto di vista idrogeologico. Nell'area oggetto d'indagine, al di sotto dei primi livelli di terreni limoso-argillosi, talora sabbiosi fini (Unità A – B e C), ad una profondità di circa 15/16 metri dal p.c. inizia il primo vero acquifero, ospitato nel litosoma sabbioso (Unità D) che si riscontra sino alla profondità di circa 30/35 metri dal p.c.

Esso rappresenta il primo acquifero utile per lo sfruttamento da cui in genere attingono i pozzi nella zona. Lo strato argilloso-limoso sovrastante confina la falda contenuta nelle sottostanti sabbie e ne impedisce la risalita mantenendola in pressione.

La frangia freatica superficiale trova sede nei depositi coesivi, limoso-argillosi, ed è ascrivibile ad un livello idrico sospeso con circolazione molto limitata a causa della bassa permeabilità dei depositi.

La sua alimentazione è legata prevalentemente alle infiltrazioni meteoriche dalla superficie e, pertanto, appare piuttosto variabile durante l'anno.

La determinazione della permeabilità dei depositi superficiali fornisce le informazioni necessarie alla quantificazione dei meccanismi di ricarica legati all'infiltrazione delle acque meteoriche, nonché alla valutazione del grado di protezione degli acquiferi superficiali.

L'associazione dei valori numerici alle classi litologiche si basa sul confronto con terreni consimili a permeabilità nota.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 24
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

A riguardo, in Figura 9 è riportata la tabella che definisce i valori ed i limiti convenzionali fra il tipo granulometrico formazione e grado di permeabilità, utilizzata anche nel presente studio per definire la permeabilità dei depositi rilevati.

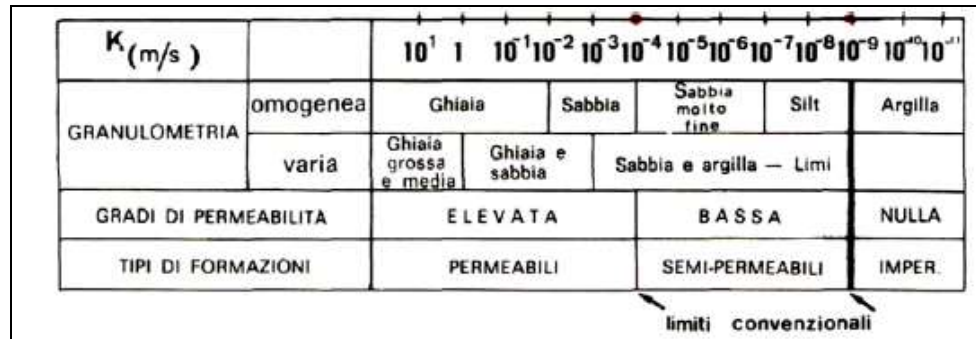


FIGURA 9 – VALORI DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ (DA CASTANY)

I terreni riscontrati all'interno dell'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, sono classificabili come depositi alluvionali da semi-permeabili ad impermeabili, caratterizzati da un grado di permeabilità da elevato a nullo.

Unità A e B - Depositi a permeabilità da molto bassa a nulla

A questa classe appartengono i terreni a granulometria argillosa, argilloso-limosa e limoso-argillosa, che in relazione alla granulometria estremamente fine determinano valori del coefficiente di permeabilità k inferiori a $1 \cdot 10^{-9}$ m/sec e porosità totale elevata.

Di conseguenza possono immagazzinare notevoli quantità di acqua anche se la circolazione al loro interno è pressoché assente.

La conducibilità idraulica può aumentare, in prossimità della superficie topografica, in conseguenza della fessurazione per essiccamento, frequente nei periodi più aridi.

Elemento significativo in questi tipo di depositi è la risalita capillare, che nei terreni francamente argillosi può raggiungere anche i 10 metri. Ciò significa che in questi terreni, anche in assenza di falda possono risultare pressoché saturi.

Unità C - Depositi a permeabilità bassa

A questa classe appartengono i terreni a granulometria franco limosa limoso-argillosa e limoso sabbiosa, e i depositi caratterizzati da sottili alternanze di livelli a differente granulometria (da argillosa a sabbiosa).

Essi sono caratterizzati da una permeabilità media ($10^{-7} > k > 10^{-9}$ m/sec).

Questi terreni presentano un differente grado di permeabilità sia in senso orizzontale che verticale in relazione alla variabilità del rapporto sabbia/limo e alla presenza di sottili intercalazioni argillose.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 25
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

Unità D - Depositi a permeabilità elevata

A tale classe sono stati attribuiti i depositi a granulometria sabbiosa, a cui è associata una permeabilità elevata, con coefficiente di permeabilità $k > 10^{-7}$ m/sec. Va precisato, tuttavia, che il valore della permeabilità è strettamente legato alla percentuale di matrice fine che, intasando i vuoti presenti tra gli elementi grossolani, determina una netta diminuzione della conducibilità idraulica e una notevole variabilità, sia in senso orizzontale che verticale.

La *falda freatica* rappresenta il primo elemento idrogeologico riscontrato in sito, la cui profondità, al momento delle rilevazioni, risultava compreso tra 1,40÷1,70 metri di profondità dal piano di esecuzione dell'indagine in sito.

L'indagine penetrometrica supplementare, eseguita nel mese di Aprile 2015, ha evidenziato una soggiacenza di 1,30 metri da p.c., dato coerente con i rilievi eseguiti precedentemente sul comparto indagato.

Punto di rilevazione	Quota p.c. (metri)	Soggiacenza falda (metri)	Quota superficie freatica (metri)
CPT1	+ 17.70	- 1.70	+ 16.00
CPT2	+ 17.70	- 1.60	+ 16.10
CPT3	+ 17.70	- 1.40	+ 16.30
CPT4	+ 17.70	- 1.40	+ 16.30
CPT5	+ 17.70	- 1.50	+ 16.20

Generalmente la *falda freatica* è caratterizzata da moto prevalentemente verticale, dal basso verso l'alto per fenomeni di risalita capillare e in senso inverso per fenomeni di infiltrazione conseguenti ad eventi meteorici e/o per dispersioni da canali, fossi e scoli.

Considerando il periodo dei rilievi, si ritiene che i valori di soggiacenza siano riferibili a livelli tipici di morbida del regime idrologico della stessa.

Il valore di soggiacenza misurato risulta fortemente assoggettato sia alle infiltrazioni meteoriche sia a quelle provocate dalle irrigazioni agricole, che ai litotipi riscontrati; tali fattori possono determinare nella falda freatica un'escursione massima (dettata in condizioni strettamente locali) di 80-100 cm.

E' quindi lecito supporre che, in presenza di eventi meteorici normali non eccezionali, il livello di falda freatica possa oscillare tra 1,00/1,20 e 2,00/2,20 metri da p.c. attuale.

Si segnala che la presenza di sedimenti a prevalente matrice limoso-sabbiosa fine nell'immediato sottosuolo, al cui tetto, talora, è presente un livello poco permeabile costituito da limi argillosi, possa determinare la formazione di livelli saturi, temporanei e sospesi, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi e prolungati.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 26
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

La componente argillosa presente nei terreni superficiali favorisce i fenomeni di risalita capillare dell'acqua, determinando un elevato tenore di umidità nei livelli più coesivi; si tratta, tuttavia, di una condizione del tutto comune ed usuale in presenza di terreni a granulometria prevalentemente fine.

La presenza di livelli prevalentemente argilloso-limosi, con le oscillazioni del grado di saturazione dei terreni di sedime imputabili alle variazioni stagionali dei livelli freatici e della frangia di risalita capillare, possa condurre a processi di essiccamento / rigonfiamento tipici dei terreni a preponderante componente pelitica come quelli in oggetto.

<i>Clay description</i>	S_r
Insensitive	≈1
Slightly sensitive	1 to 2
Medium sensitive	2 to 4
Very sensitive	4 to 8
Slightly quick	8 to 16
Medium quick	16 to 32
Very quick	32 to 64
Extra quick	> 64

Source: Mitchell (1976)

Con sensibilità si intende la tendenza del deposito coesivo a variare il proprio volume in corrispondenza di una variazione del contenuto naturale di acqua. La verifica della sensibilità dei terreni coesivi S_T , espressa mediante l'analisi del valore di R_f ottenuto dalle indagini penetrometriche ha evidenziato valori di S_T generalmente compresi tra 2,50 e 2,65, indicanti

depositi coesivi da poco sensitivi a mediamente sensitivi, con diminuzione con la profondità.

Per la valutazione della vulnerabilità della falda freatica è stata utilizzata la metodologia proposta da De Luca – Vega (1991) che per la sua struttura ben si adatta anche all'applicazione su aree sia di grande sia di piccola estensione e permette così di utilizzare la stessa metodologia anche nel caso di studi specifici su aree di particolare interesse.

Nello specifico, considerata la sensibile variazione di piezometria sia a breve distanza nello spazio che nel tempo, ci si è concentrati sulla valutazione della vulnerabilità verticale, intesa come la facilità con cui l'acquifero può essere raggiunto da un inquinante immesso dalla superficie topografica; essa, quindi, è funzione dell'attitudine di un deposito a farsi attraversare da parte di un eventuale inquinante, legata allo spessore, alla permeabilità e alla litologia del non saturo.

Tramite il tempo di arrivo teorico di un inquinante in falda è possibile quantificare il valore di vulnerabilità verticale:

$$t_a = S / V_i$$

in cui:

t_a = tempo di arrivo;

S = soggiacenza;

V_i = velocità di infiltrazione.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 27
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Per il calcolo si possono utilizzare i parametri riportati nella tabella seguente (CASTANY, 1986).

GRANULOMETRIA	VELOCITÀ DI INFILTRAZIONE (m/s)
Ghiaia pulita	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Sabbia molto grossolana	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Ghiaia e sabbia	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Sabbia grossolana	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Sabbia media	$8,5 \cdot 10^{-4}$
Sabbia fine	$6,2 \cdot 10^{-5}$
Sabbia limosa	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Limo	$6,5 \cdot 10^{-7}$
Argilla	$3,2 \cdot 10^{-8}$

A favore della sicurezza si calcolano i valori di velocità di infiltrazione con un gradiente idraulico pari ad uno, cioè considerando completamente saturo il terreno tra la superficie del suolo e la falda.

A fronte di questi tempi teorici di arrivo in falda sono state contraddistinte sei classi:

TEMPO DI ARRIVO	VULNERABILITÀ VERTICALE
>20 anni	MOLTO BASSA
20 anni – 10 anni	BASSA
10 anni – 1 anno	MEDIA
1 anno – 1 settimana	ALTA
1 settimana – 24 ore	ELEVATA
< 24 ore	MOLTO ELEVATA

Si è proceduto con la risoluzione delle formule sopra riportate nelle situazioni corrispondenti allo stato di fatto.

Il modello concettuale utilizzato per la valutazione del livello di rischio considera lo spessore del non saturo pari 2,00 metri.

Si è proceduto con la risoluzione della formula sopra riportata nella situazione corrispondente allo stato di fatto; il tempo di arrivo e la definizione della vulnerabilità verticale è riportata nella seguente tabella:

SITUAZIONE DI RISCHIO	SOGGIACENZA S	VELOCITÀ DI INFILTRAZIONE	TEMPO DI ARRIVO t_a	VULNERABILITÀ VERTICALE
Falda freatica	2,00 metri	$6,5 \cdot 10^{-7}$ m/s	5 settimane	ALTA

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 28
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

9. INQUADRAMENTO SISMICO

9.1. Macrosismicità

Recenti studi condotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica sul territorio italiano con riferimento ai dati provenienti da tutti i cataloghi sismici disponibili per gli ultimi duemila anni [Mappa della Massima Intensità Macrosismica Risentita in Italia – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento Protezione Civile] indicano che la zona in esame ha testimoniato una intensità macrosismica massima pari al VII° grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg. La Mappa delle Massime Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani evidenzia per il territorio in esame il manifestarsi in passato di terremoti con soglie di danno ≤ 7 . In tale studio non vengono fornite indicazioni dirette sulla intensità dei terremoti in funzione della loro frequenza probabile, espressa come tempo di ritorno dell'evento tellurico. I massimi storicamente registrati sono in ogni caso coerenti con quanto indicato dai più recenti studi sulla pericolosità sismica del territorio nazionale, nei quali vengono definiti i seguenti valori degli indicatori di pericolosità con probabilità di non superamento pari al 90% dei casi in 50 anni (G.N.D.T. e S.S. 1999):

- ❖ accelerazione massima orizzontale di picco al suolo: $a_{max} = 0,127g$
- ❖ intensità macrosismica: $I_{MCS} = VII^{\circ}$

TABELLA 1 – STORIA SISMICA DI CONCORDIA SULLA SECCHIA

Anno	Mese (Me)	Data (Gi)	Area epicentro	Intensità al sito I_s (MCS)	Intensità epicentro I_0 (MCS)	Magnitudo momento (Mw)
1891	06	07	VALLE D'ILLASI	6	8-9	5,71
1951	05	15	LODIGIANO	5	6-7	5,24
1996	10	15	CORREGGIO	5	7	5,44
1810	12	25	NOVELLARA	4	7	5,28
1928	06	13	CARPI	4	6-7	4,85
1987	05	02	REGGIANO	5-6	6	5,05
1806	02	02	NOVELLARA	4	7	5,26
1971	07	15	PARMENSE	7	7-8	5,61
1929	04	20	BOLOGNESE	4	7	5,55
1983	11	09	PARMENSE	4-5	6-7	5,10
1989	09	13	PASUBIO	3-4	6	4,96
1935	06	05	FAENTINO	3	6	5,34
1930	30	07	SENIGALLIA	3	9	5,94
1986	6	17	BONDENO	3	6	4,56

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 29
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

Dall'osservazione della mappa delle aree sismogenetiche dell'Italia settentrionale si evince come il territorio comunale di Concordia ricada all'interno della **zona sismogenetica 912** denominata "Pieghe emiliane e Dorsale Ferrarese", la quale costituisce la continuazione sepolta delle strutture appenniniche nell'antistante area di pianura. I sismi registrati nell'area in studio, si sono originati per la percentuale maggiore nei primi 15 km del sottosuolo evidenziando la prevalenza di un'attività sismogenetica di tipo superficiale; la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra 15 e 35 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da densità inferiore. D'altra parte la sismicità crostale più profonda, ipocentri sottostanti 35 km dal piano campagna, nella pianura è decisamente inferiore e risulta caratterizzata da sismi di bassa magnitudo. Dalla TABELLA 1 si osserva che gli epicentri dei terremoti storici selezionati ricadono in otto casi (su ventidue terremoti di riferimento) nella zona sismogenetica ZS 912, suddivisi tra il margine appenninico-padano, con Magnitudo M compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e l'arco della dorsale ferrarese, caratterizzato da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5).

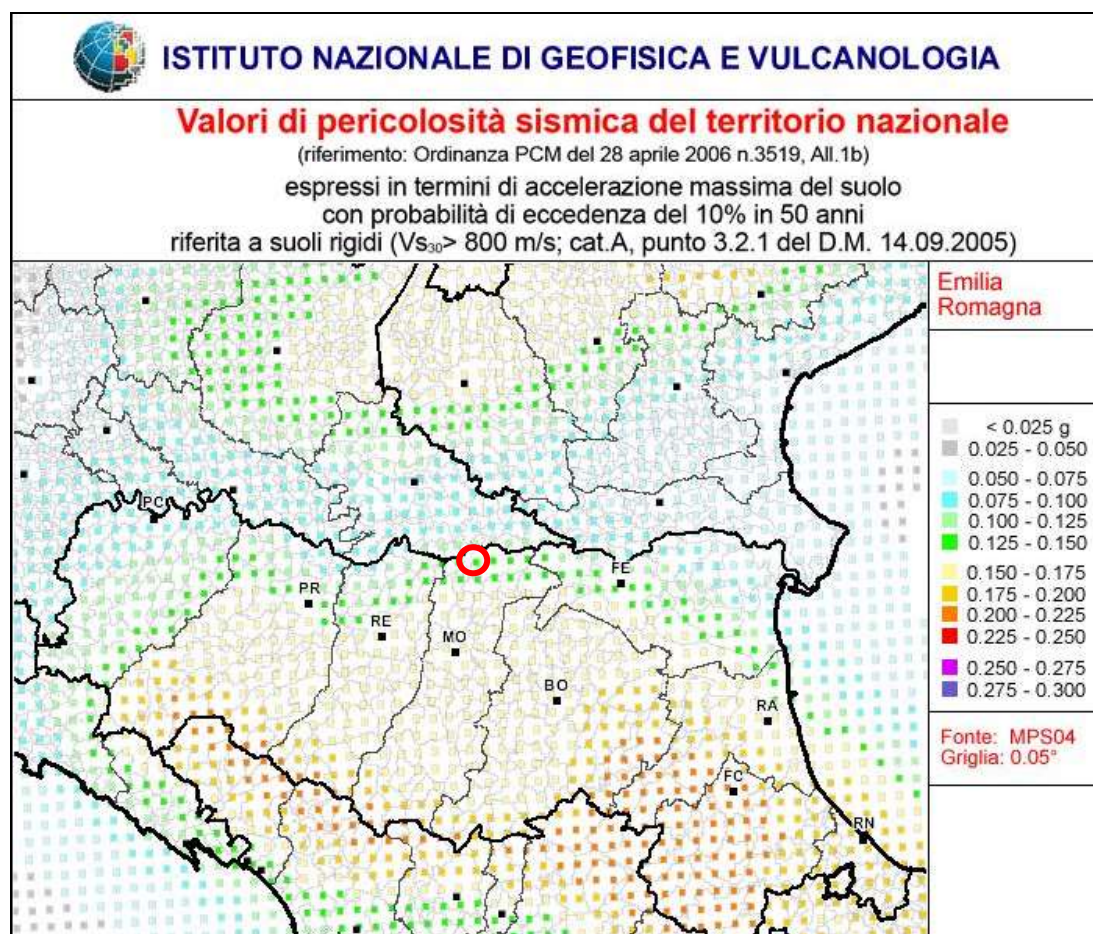


FIGURA 10 – ESTRATTO DI MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

In merito alla classificazione sismica del territorio nazionale, nello specifico ai sensi dell'O.P.C.M. 20 Marzo 2003, n. 3274, che costituisce la base legislativa della nuova disciplina sulla sismicità, tale Ordinanza ha

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 30
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

aggiornato la normativa sismica, con l'attribuzione, alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo.

Il territorio nazionale viene suddiviso in quattro zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g , ossia di accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (*Formazioni litoidi o terreni omogenei caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri*).

Le massime accelerazioni attese al suolo o P.G.A. (Peak Ground Acceleration) previste dalla mappa di Pericolosità Sismica dell'I.N.G.V. – 2004 sono comprese tra **0,125 ÷ 0,150g**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A

9.2 Sorgenti sismogenetiche e sequenza sismica del Maggio 2012

Il Database DISS (INGV – DISS Working Group, 2010) indica per l'area indagata l'esistenza di una tre sorgenti sismogenetiche, coincidenti con strutture di thrust, denominate rispettivamente:

- ITCS051 – Poggio Rusco – Migliarino;
- ITCS050 – Novi – Poggio Renatico;
- ITIS107 - Mirandola.

Prima della sequenza sismica del 2012, l'esistenza di queste sorgenti sismogenetiche era stata ipotizzata solo su base geologica, a partire dall'osservazione della presenza di anomalie del drenaggio; in particolare, i fiumi Secchie e Panaro vengono prima attratti l'uno verso l'altro nella zona di subsidenza attiva (sinclinale Bologna-Bomporto), posta a sud dell'anticlinale sepolta, e poi divergono quando sono costretti ad attraversare la zona in sollevamento tettonico (anticlinale).

La posizione delle zone in sollevamento e subsidenza attiva, indicate dal comportamento del drenaggio, ha aiutato a definire le geometrie delle faglie responsabili del movimento.

Le sorgenti sismogenetiche individuali allineate contengono un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche individuali allineate non individuali singolarmente.

Alla più meridionale (ITCS050) è attribuita la magnitudo massima della sorgente individuale associata (ITIS107), cioè 5,7; alla più settentrionale (ITCS051) è invece attribuita una magnitudo massima di 5,5 sulla base del più forte terremoto registrato nella regione.

Gli studi in corso sulla sequenza sismica emiliana del Maggio 2012, associano, anche sulla base di dati SAR, la scossa del 29 Maggio 2012 alla sorgente individuale ITIS107, che, se pur identificata solo su base geologica, pare corrispondere molto bene, in termini di magnitudo potenziale e altri parametri associati, a quanto osservato strumentalmente.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 31
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015



FIGURA 11 – LE SORGENTI SISMOGENETICHE DEL DATABASE DISS 3.1

La scossa del 20 Maggio pare invece da associare alla porzione più profonda della sorgente composta ITCS051. Secondo la zonazione sismogenetica del territorio italiano – ZS9, prodotta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004, che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l’area in esame ricade entro la Zona 912, caratterizzata da un valore di M_w pari a 6,14.

Effetti di liquefazione della sequenza sismica del Maggio 2012

La scossa del 20 Maggio 2012 ($M_I = 5.9$) e, in misura minore, quella del 29 Maggio ($M_I = 5.8$), hanno causato evidenti fenomeni di liquefazione in prossimità dell’area epicentrale.

I rapporti dei rilievi eseguiti ad oggi disponibili dai tecnici di diversi enti, riportano come tali fenomeni risultino maggiormente evidenti in corrispondenza di paleovalvei fluviali, dove le risalite di sabbie risultano in genere allineate lungo fratture.

La maggiori evidenze si concentrano nei comuni ferraresi lungo il palealveo del Fiume Reno, ma per quanto queste siano macroscopiche sul terreno, gli effetti di tali fenomeni sulle costruzioni appaiono tutto sommato ridotti.

Dalla consultazione dei dati disponibili, per quanto concerne l’area comunale di Concordia sulla Secchia, sono note poche evidenze di liquefazione e fratturazione del terreno. In sintesi si evidenziano alcune zone nella porzione settentrionale del territorio comunale in prossimità delle località di Santa Caterina e Vallalta e

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 32
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

all'interno di un'area verde posta in prossimità dell'abitato di Concordia sulla Secchia, complessivamente tutti siti posizionali ungo gli allineamenti di paleocanali di origine fluviale.

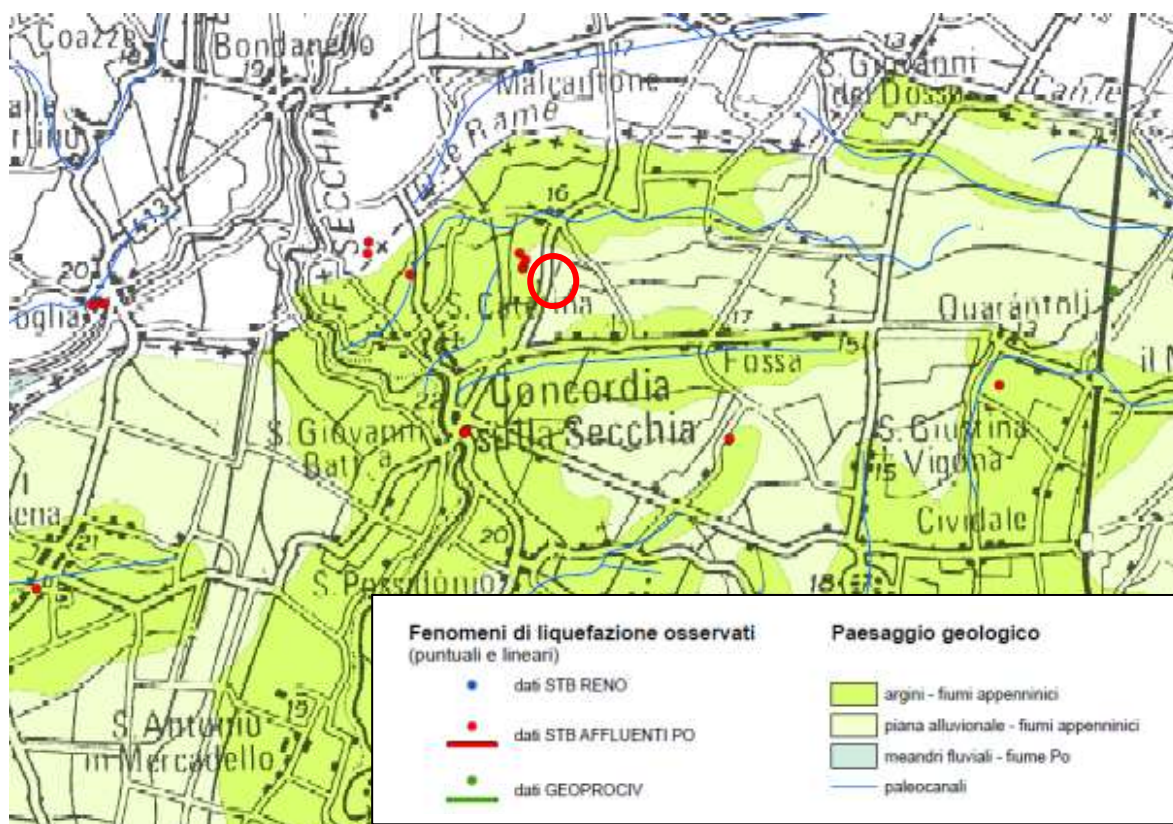


FIGURA 11 – CARTA DEGLI EFFETTI DI LIQUEFAZIONE OSSERVATI DOPO GLI EVENTI SISMICI DEL MAGGIO 2012

In considerazione dell'estrema vicinanza all'area epicentrale e delle accelerazioni di picco registrate, gli effetti di liquefazione nel Comune di Concordia sulla Secchia appaiono tutto sommato assai ridotti. Le ragioni principali possono essere ritenute che in tale località, rispetto alle altre zone in cui si sono registrati effetti molto superiori, i depositi sabbiosi si rinvengono mediamente a profondità maggiori e sono caratterizzati da un maggiore addensamento.

10. CONCLUSIONI

La presente relazione ha studiato i caratteri geologico-geomorfologici, idrogeologici e sismici del sito, a supporto del progetto per il piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "LeVille", il cui intervento si svilupperà in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO). Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni:

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 33
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

- il sottosuolo risulta costituito da depositi alluvionali recenti, caratterizzati dalla fitta alternanza di livelli limoso-argillosi ed argilloso-limosi, talora sabbiosi fini, argilla, argilla limosa e limo argilloso, di consistenza da soffice a plastica, sovrapposti, a partire dalla profondità di circa 8,20/10,20 metri, ad un potente litosoma sabbioso e sabbioso-limoso, contraddistinto a tetto, da prevalenti limi sabbiosi e sabbie argillose;

- al momento dell'esecuzione delle prove in sito, è stata rilevata la presenza della prima falda libera superficiale, per risalita all'interno dei perfori penetrometrici, ad una quota compresa tra 1,30 e 1,70 metri di profondità dal piano di esecuzione delle indagini; si ritiene che tale quota sia prossima al massimo innalzamento della falda freatica, previsto, per il territorio in esame, fino a circa 1,00/1,20 metri da p.c.;

- sulla base delle informazioni litostratigrafiche e delle proprietà meccaniche ricavati dalle indagini geognostiche è possibile affermare, preliminarmente, che la natura prevalentemente coesiva dei depositi superficiali ivi riscontrati escludono il rischio di liquefazione dei terreni in occasione di eventi sismici.

Il litosoma sabbioso sottostante, saturo e a comportamento granulare/incoerente, è potenzialmente liquefacibile; pertanto, risulta necessario eseguire specifiche verifiche geotecniche per definirne il rischio, le cui risultanze saranno riportate nella Relazione sulla Modellazione Sismica;

- in relazione al piano di imposta di eventuali nuove fondazioni superficiali, si ricorda che quest'ultime devono essere congruenti alle seguenti indicazioni: sottostare alla massima profondità del gelo del terreno, essere più profonde del cosiddetto strato attivo, ovvero quello strato superficiale del suolo soggetto a ritiro/rigonfiamento in conseguenza all'andamento delle precipitazioni stagionali, sottostare all'eventuale strato sovraconsolidato per essiccazione.

Si ritiene opportuno, in fase di esecuzione dei lavori, effettuare un'accurata ispezione visiva del terreno di fondazione per accertare la presenza di disomogeneità litologiche particolarmente evidenti e/o di livelli rammolliti, saturi d'acqua, formatisi in seguito a precipitazioni particolarmente intense e prolungate, e/o particolari disomogeneità del terreno di riporto.

In presenza di tali singolarità, si deve procedere con un'omogeneizzazione delle proprietà meccaniche e deformative del terreno, tipicamente mediante la rimozione di uno strato di adeguato spessore e la sua sostituzione con un getto di magrone.

Le terre provenienti dalle attività di sbancamento e/o di scavo delle fondazioni, se non vengono utilizzate in opere di reinterro, riempimenti e rilevati appositamente previste in fase progettuale, devono essere stoccati in un'apposita area comunale, regolarmente autorizzata, per il recupero.

Si raccomanda di limitare, se è possibile, le superfici impermeabilizzate od eventualmente prevedere l'adozione di pavimentazione di tipo permeabile che consentano la naturale infiltrazione nel sottosuolo di

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 34
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

parte delle acque superficiali.

Dall'insieme delle risultanze ottenute e considerando la destinazione d'uso del comparto oggetto di intervento edificatorio, si ritiene che l'area indagata sia **idonea** ad ospitare l'intervento edilizio in previsione. Risulta evidente che, per la presenza di possibili eterogeneità litostratigrafiche/ geotecniche, nonché di una falda freatica superficiale e temporanea in occasione dei periodi a maggiore piovosità, la fattibilità del progetto proposto sia strettamente vincolata alla scelta di adeguate strutture fondazionali superficiali, opportunamente dimensionate, atte a minimizzare l'insorgenza dei cedimenti assoluti e differenziali conseguenti alla nuova imposizione di carico che graverà sui terreni di fondazione, nonché all'adozione di idonee opere di impermeabilizzazione atte a garantire l'assenza di acqua nel caso di una progettazione definitiva che preveda la realizzazione di strutture interrato.

GEOLOGO

FRANCESCO GABRIELLI



STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 35
---	---	---------

<i>Titolo:</i> Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	<i>Data:</i> Maggio 2015
---	-----------------------------

APPENDICE DOCUMENTALE

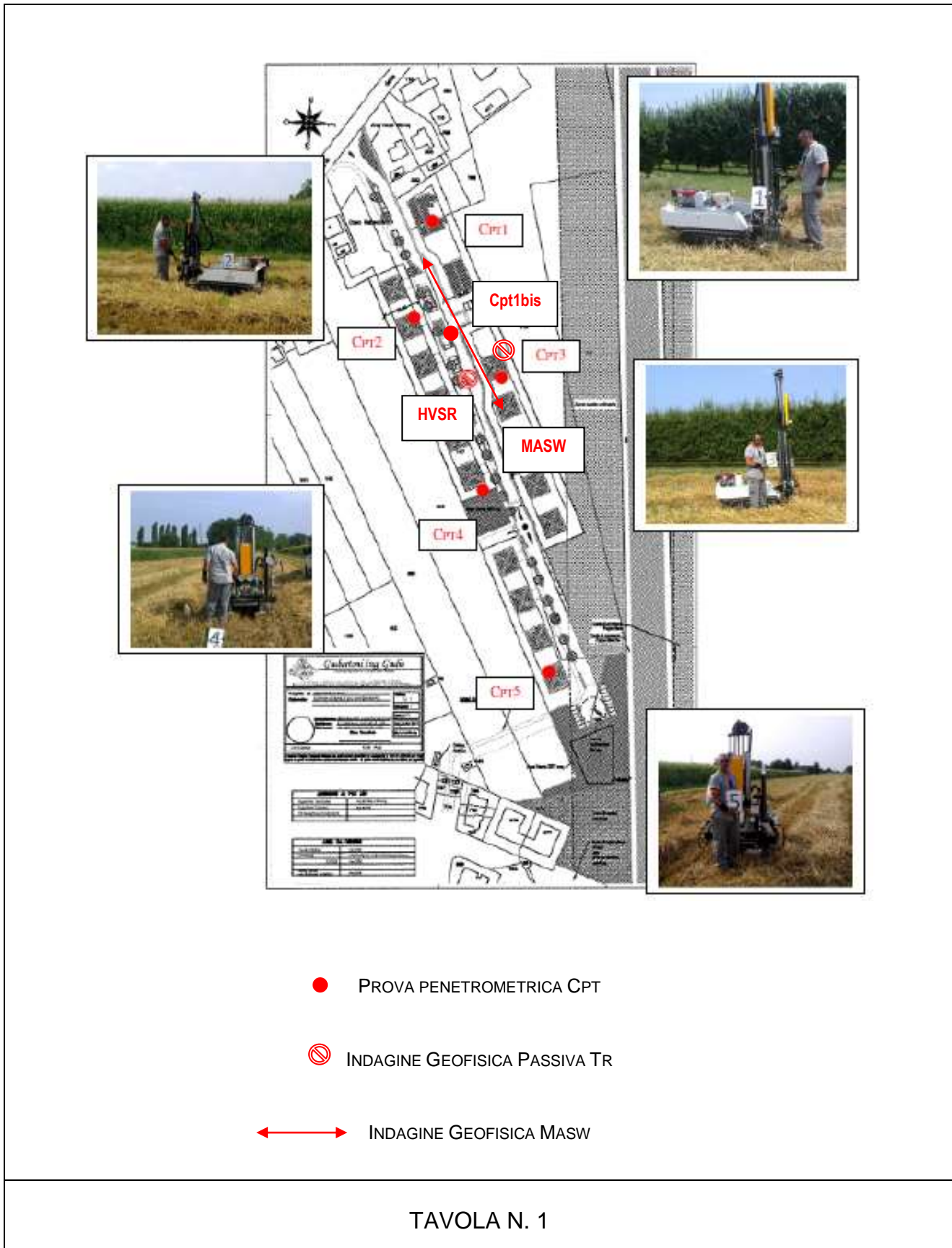
RISULTATI E CERTIFICATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

TAV. 1 - Planimetria generale – stato di progetto: ubicazione indagini in sito

Tabulati prove penetrometriche statiche

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 36
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------



STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 37
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione geologica a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

ELABORATI PROVE PENETROMETRICHE CPT

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 38
---	---	---------

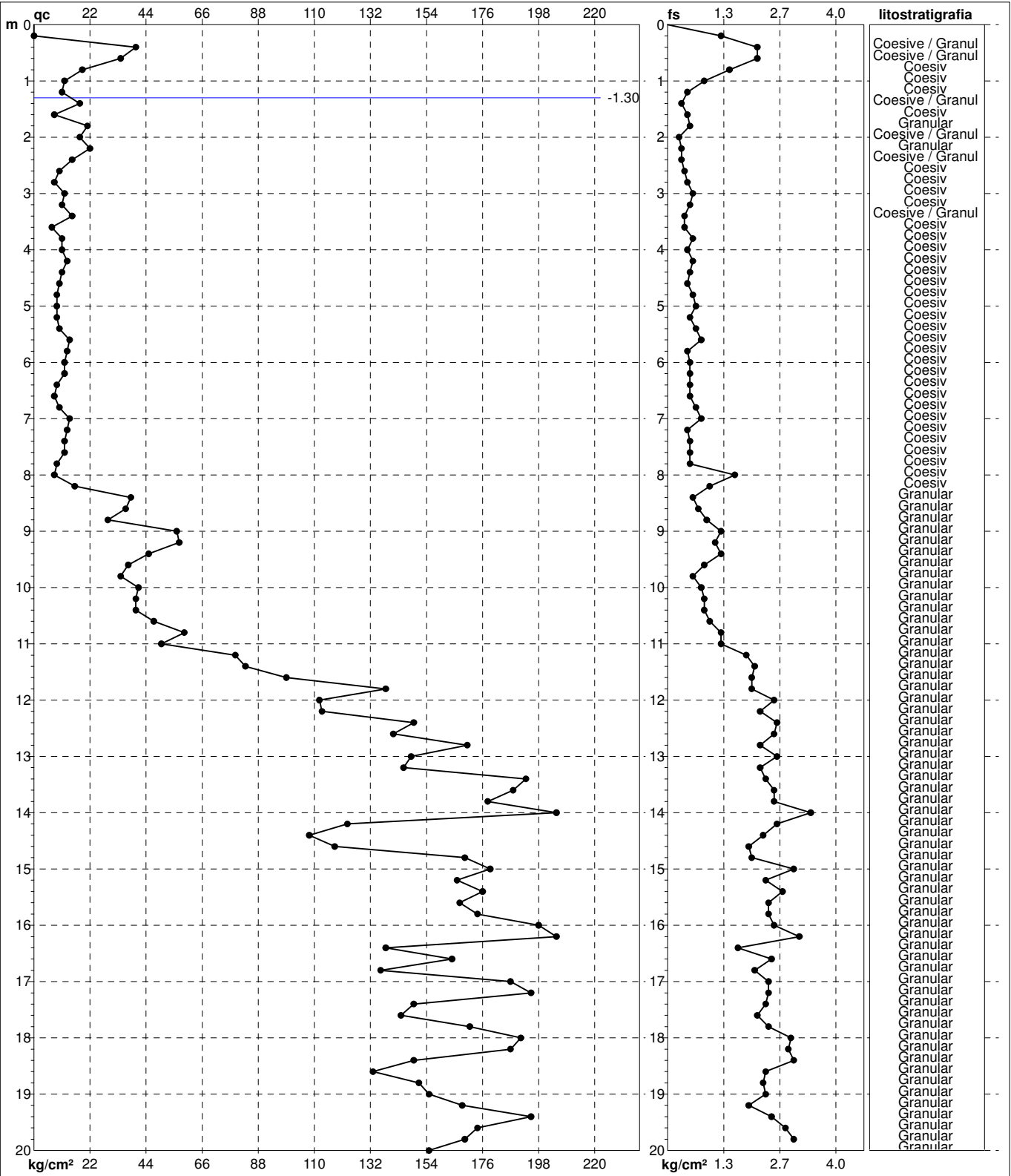
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	2015-067

Committente: **IMMOBILIARE IL QUADRIFOGLIO**
 Cantiere: **PIANO URBANISTICO ATTUATIVO "LE VILLE"**
 Località: **VIA MARTIRI DELLA LIBERTA', CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **15/04/2015**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1.30 m** da quota inizio



		Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo: m
		Penetrometro: TG63-200	Corr.astine: kg/ml
		Responsabile: 	Cod. punta:
		Assistente: 	

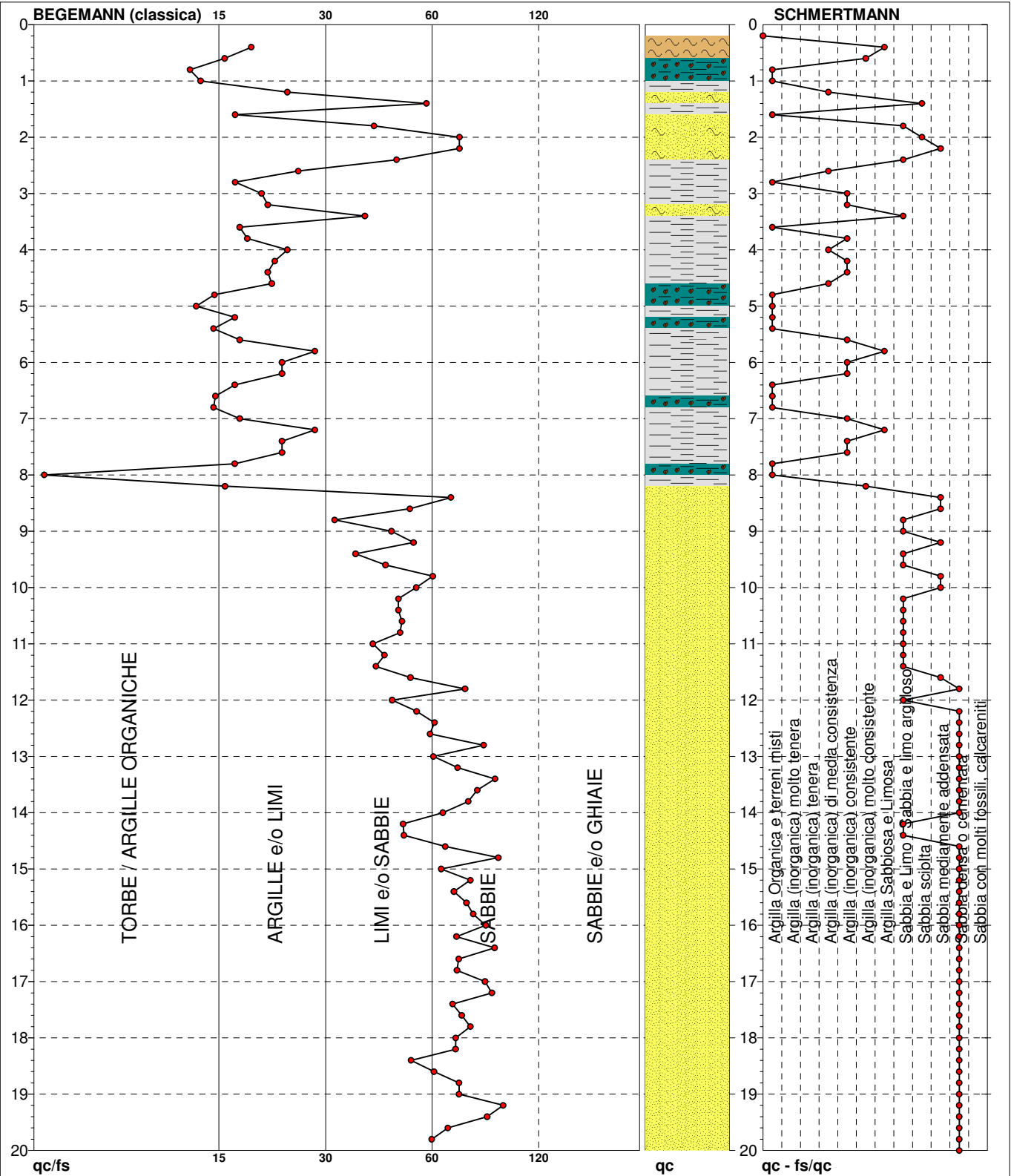
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	2015-067

Committente: **IMMOBILIARE IL QUADRIFOGLIO**
 Cantiere: **PIANO URBANISTICO ATTUATIVO "LE VILLE"**
 Località: **VIA MARTIRI DELLA LIBERTA', CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: 15/04/2015
 Scala: 1:100
 Pagina: 1
 Elaborato: Falda: -1.30 m da quota inizio



Torbe / Argille org. :	8 punti, 8.08%	Argilla Organica e terreni misti:	14 punti, 14.14%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	3 punti, 3.03%
Argille e/o Limi :	27 punti, 27.27%	Argilla (inorganica) media consist.:	4 punti, 4.04%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	17 punti, 17.17%
Limi e/o Sabbie :	31 punti, 31.31%	Argilla (inorganica) consistente:	11 punti, 11.11%	Sabbia sciolta:	2 punti, 2.02%
Sabbie:	33 punti, 33.33%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 2.02%	Sabbia mediamente addensata:	7 punti, 7.07%
				Sabbia densa o cementata:	38 punti, 38.38%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

riferimento

A5
184-11

 Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

 U.M.: **kg/cm²**

 Data eseg.: **26/06/2011**

 Pagina: **1**

Elaborato:

 Falda: **-1,50 m da quota inizio**

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %
0,20	10	14		10	0,33	30	3,3								
0,40	10	15		10	0,47	21	4,7								
0,60	12	19		12	0,20	60	1,7								
0,80	9	12		9	0,33	27	3,7								
1,00	9	14		9	0,20	45	2,2								
1,20	10	13		10	0,20	50	2,0								
1,40	13	16		13	0,20	65	1,5								
1,60	16	19		16	0,20	80	1,3								
1,80	10	13		10	0,33	30	3,3								
2,00	9	14		9	0,47	19	5,2								
2,20	17	24		17	0,60	28	3,5								
2,40	16	25		16	0,73	22	4,6								
2,60	14	25		14	0,53	26	3,8								
2,80	12	20		12	0,40	30	3,3								
3,00	10	16		10	0,53	19	5,3								
3,20	12	20		12	0,40	30	3,3								
3,40	10	16		10	0,20	50	2,0								
3,60	6	9		6	0,20	30	3,3								
3,80	8	11		8	0,20	40	2,5								
4,00	9	12		9	0,40	23	4,4								
4,20	11	17		11	0,40	28	3,6								
4,40	10	16		10	0,40	25	4,0								
4,60	10	16		10	0,27	37	2,7								
4,80	18	22		18	0,47	38	2,6								
5,00	11	18		11	0,33	33	3,0								
5,20	12	17		12	0,40	30	3,3								
5,40	15	21		15	0,40	38	2,7								
5,60	16	22		16	0,53	30	3,3								
5,80	12	20		12	0,53	23	4,4								
6,00	14	22		14	0,47	30	3,4								
6,20	12	19		12	0,47	26	3,9								
6,40	15	22		15	0,87	17	5,8								
6,60	15	28		15	0,87	17	5,8								
6,80	23	36		23	1,13	20	4,9								
7,00	23	40		23	1,13	20	4,9								
7,20	23	40		23	1,07	21	4,7								
7,40	18	34		18	0,80	23	4,4								
7,60	16	28		16	0,60	27	3,8								
7,80	13	22		13	0,60	22	4,6								
8,00	13	22		13	0,47	28	3,6								
8,20	21	28		21	1,00	21	4,8								
8,40	17	32		17	0,80	21	4,7								
8,60	16	28		16	0,53	30	3,3								
8,80	14	22		14	0,60	23	4,3								
9,00	14	23		14	0,53	26	3,8								
9,20	12	20		12	0,40	30	3,3								
9,40	11	17		11	0,20	55	1,8								
9,60	14	17		14	0,47	30	3,4								
9,80	10	17		10	0,27	37	2,7								
10,00	10	14		10	0,67	15	6,7								
10,20	15	25		15	0,60	25	4,0								
10,40	22	31		22	0,40	55	1,8								
10,60	89	95		89	1,80	49	2,0								
10,80	75	102		75	1,07	70	1,4								
11,00	68	84		68	1,53	44	2,3								
11,20	77	100		77	1,33	58	1,7								
11,40	70	90		70	1,53	46	2,2								
11,60	87	110		87	1,47	59	1,7								
11,80	103	125		103	1,80	57	1,7								
12,00	112	139		112	1,40	80	1,3								
12,20	98	119		98	1,60	61	1,6								
12,40	64	88		64	1,33	48	2,1								
12,60	28	48		28	1,80	16	6,4								
12,80	104	131		104	1,87	56	1,8								
13,00	127	155		127	2,60	49	2,0								
13,20	102	141		102	1,60	64	1,6								
13,40	119	143		119	2,60	46	2,2								
13,60	60	99		60	2,13	28	3,6								
13,80	83	115		83	2,20	38	2,7								
14,00	96	129		96	1,67	57	1,7								
14,20	119	144		119	1,93	62	1,6								
14,40	107	136		107	1,73	62	1,6								
14,60	115	141		115	2,33	49	2,0								
14,80	87	122		87	1,80	48	2,1								
15,00	122	149		122											

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta

 fs = resistenza laterale calcolata
 alla stessa quota di qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

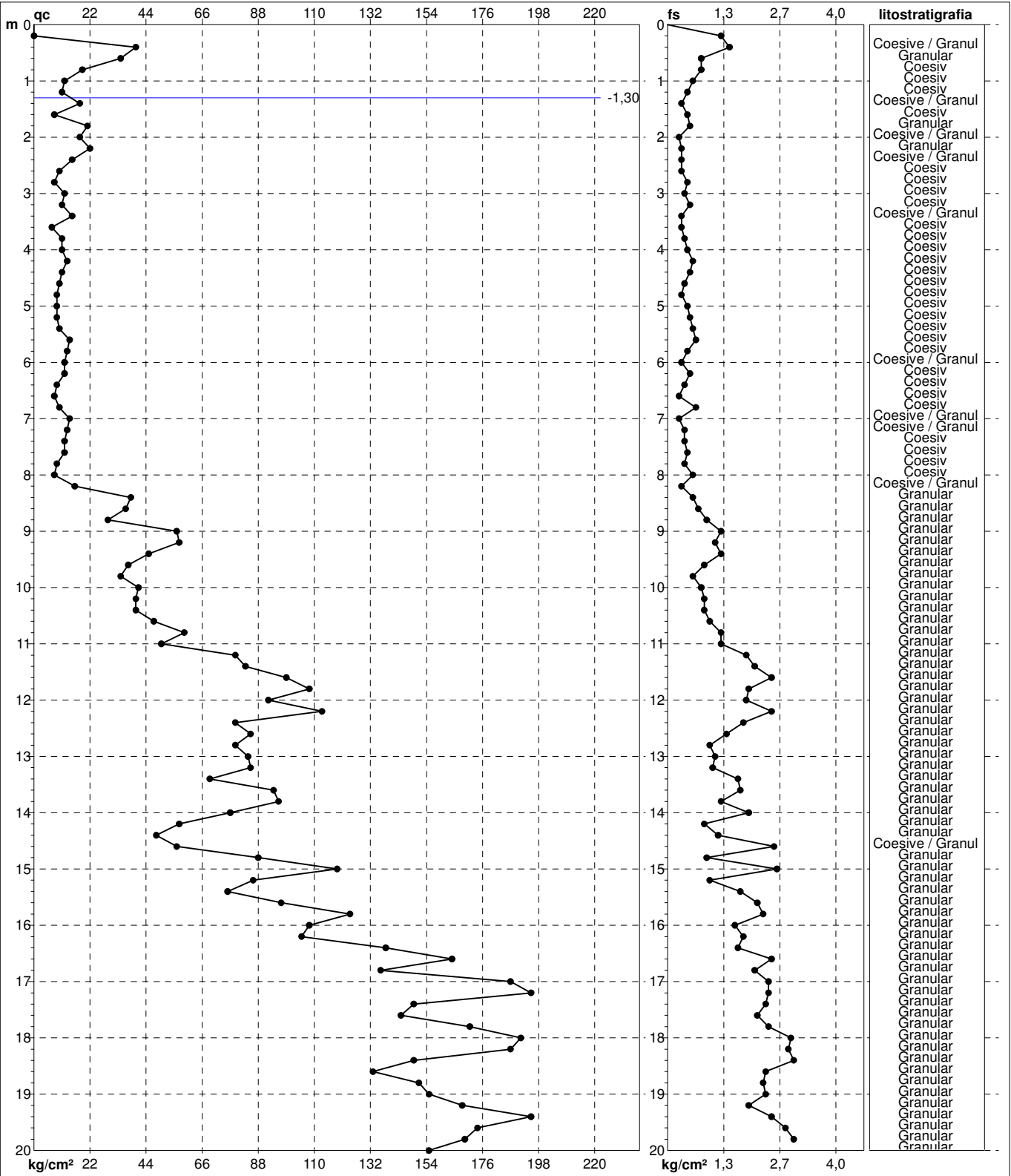
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	2015-067*

Committente: **IMMOBILIARE IL QUADRIFOGLIO**
 Cantiere: **PIANO URBANISTICO ATTUATIVO "LE VILLE"**
 Località: **VIA MARTIRI DELLA LIBERTA', CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **15/04/2015**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1,30 m da quota inizio**



		Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo: m
		Penetrometro: TG63-200	Corr.astine: kg/ml
		Responsabile: 	Cod. punta:
		Assistente: 	

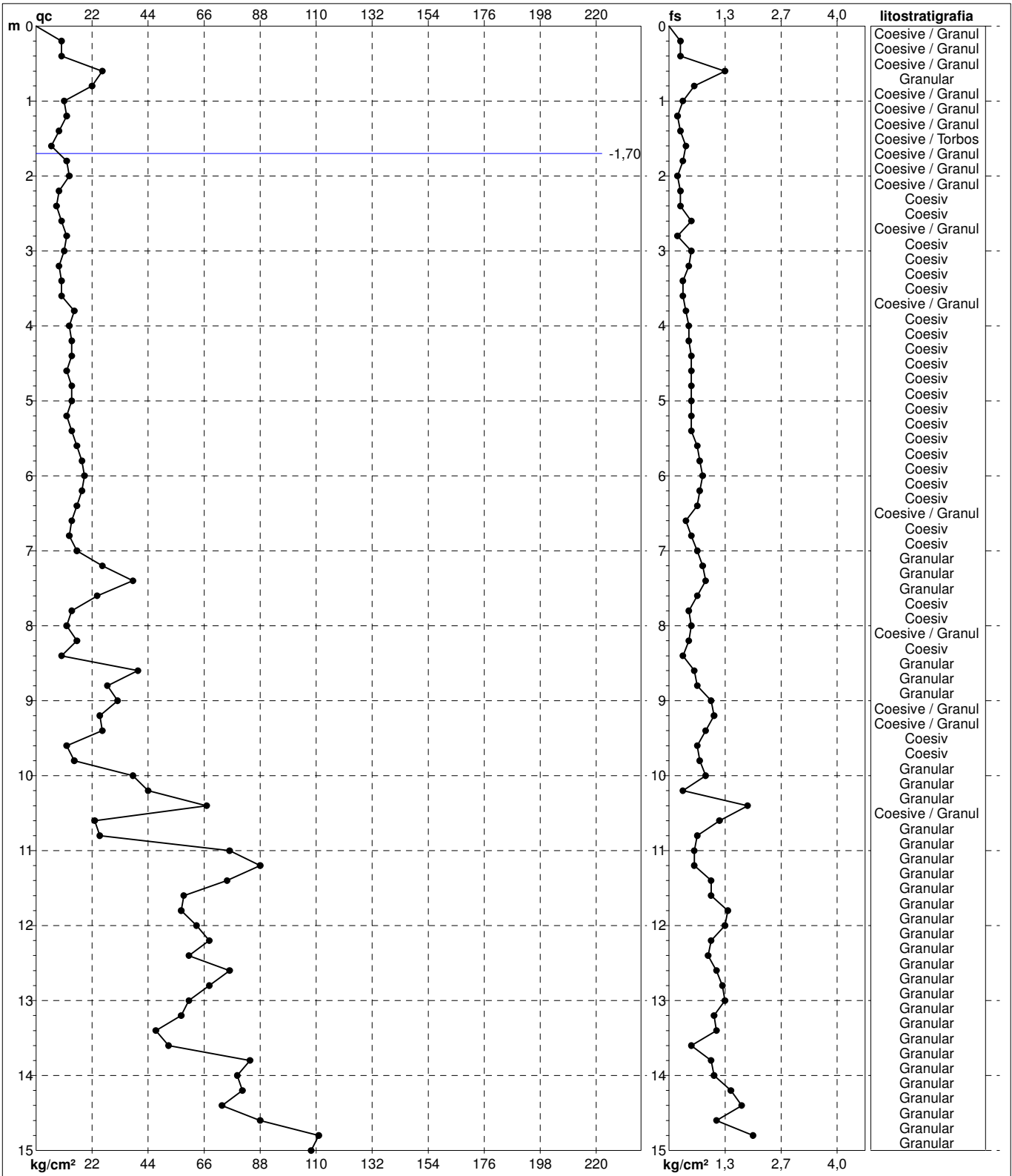
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	A1
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1,70 m** da quota inizio



	Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo: m
	Penetrometro: TG63-200	Corr.astine: kg/ml
	Responsabile: 	Cod. punta:
	Assistente: 	

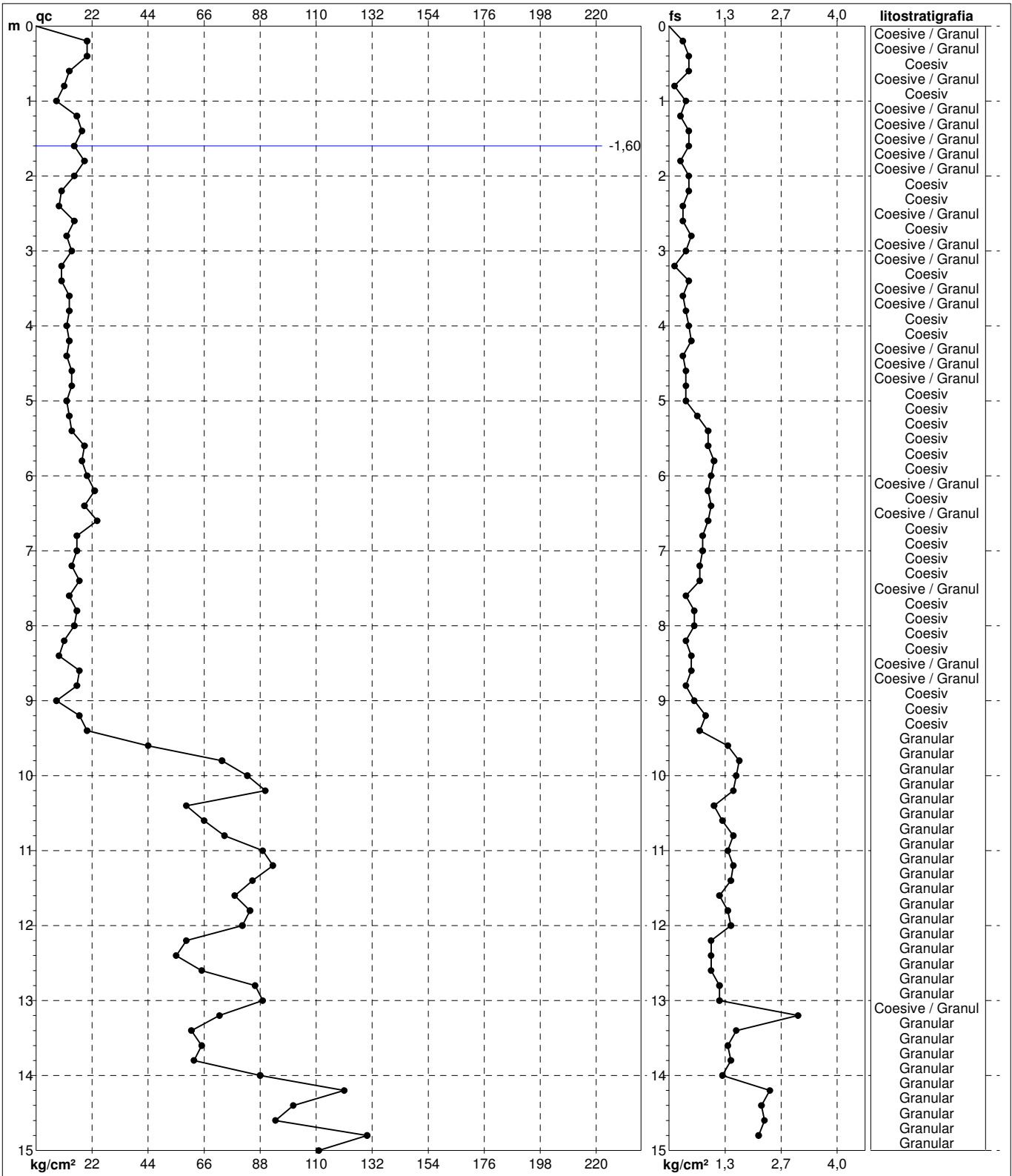
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	A2
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1,60 m da quota inizio**



		Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo: m
		Penetrometro: TG63-200	Corr.astine: kg/ml
		Responsabile:	
		Assistente:	Cod. punta:

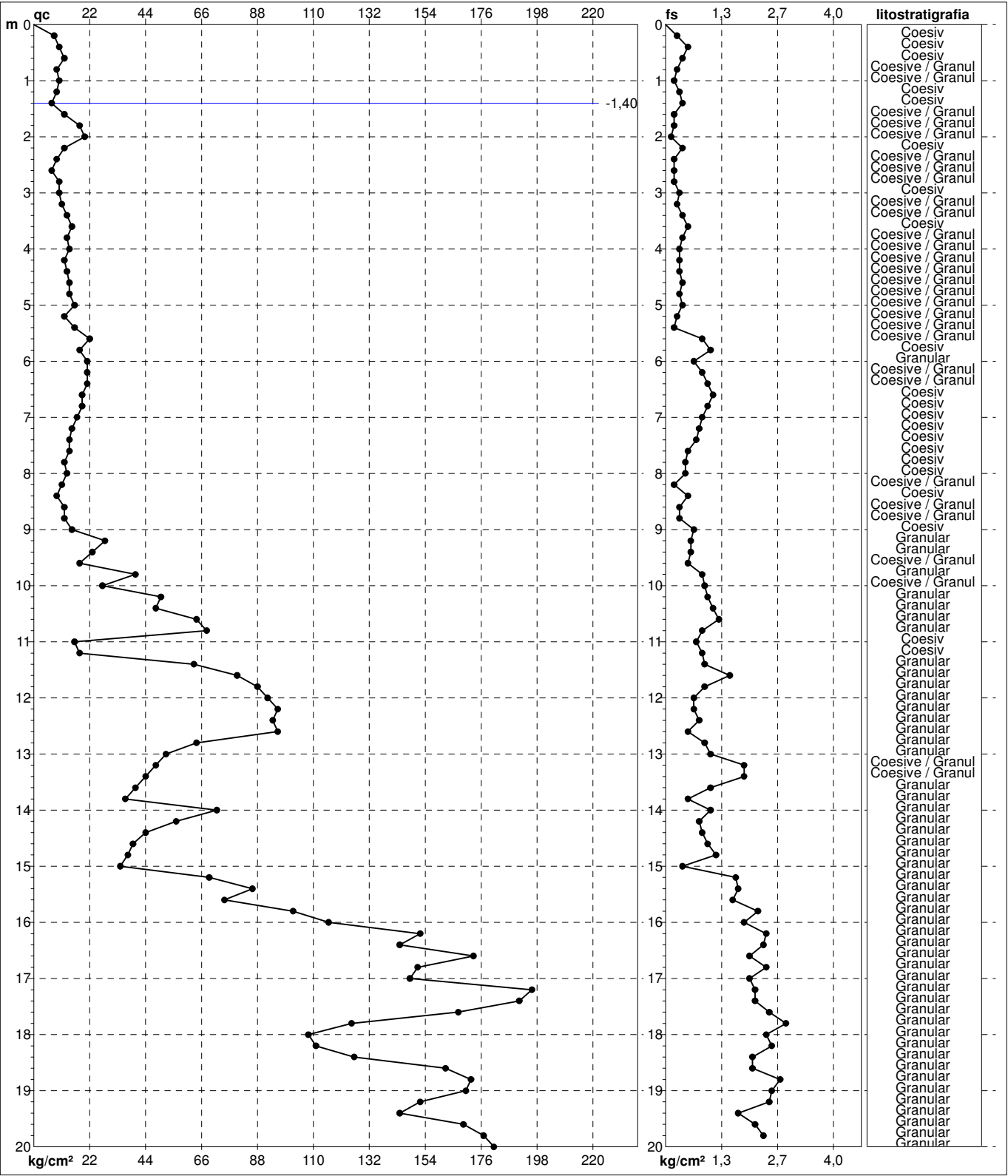
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	A3
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1,40 m** da quota inizio



	Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo: m
	Penetrometro: TG63-200	Corr.astine: kg/ml
	Responsabile: 	Cod. punta:
	Assistente: 	

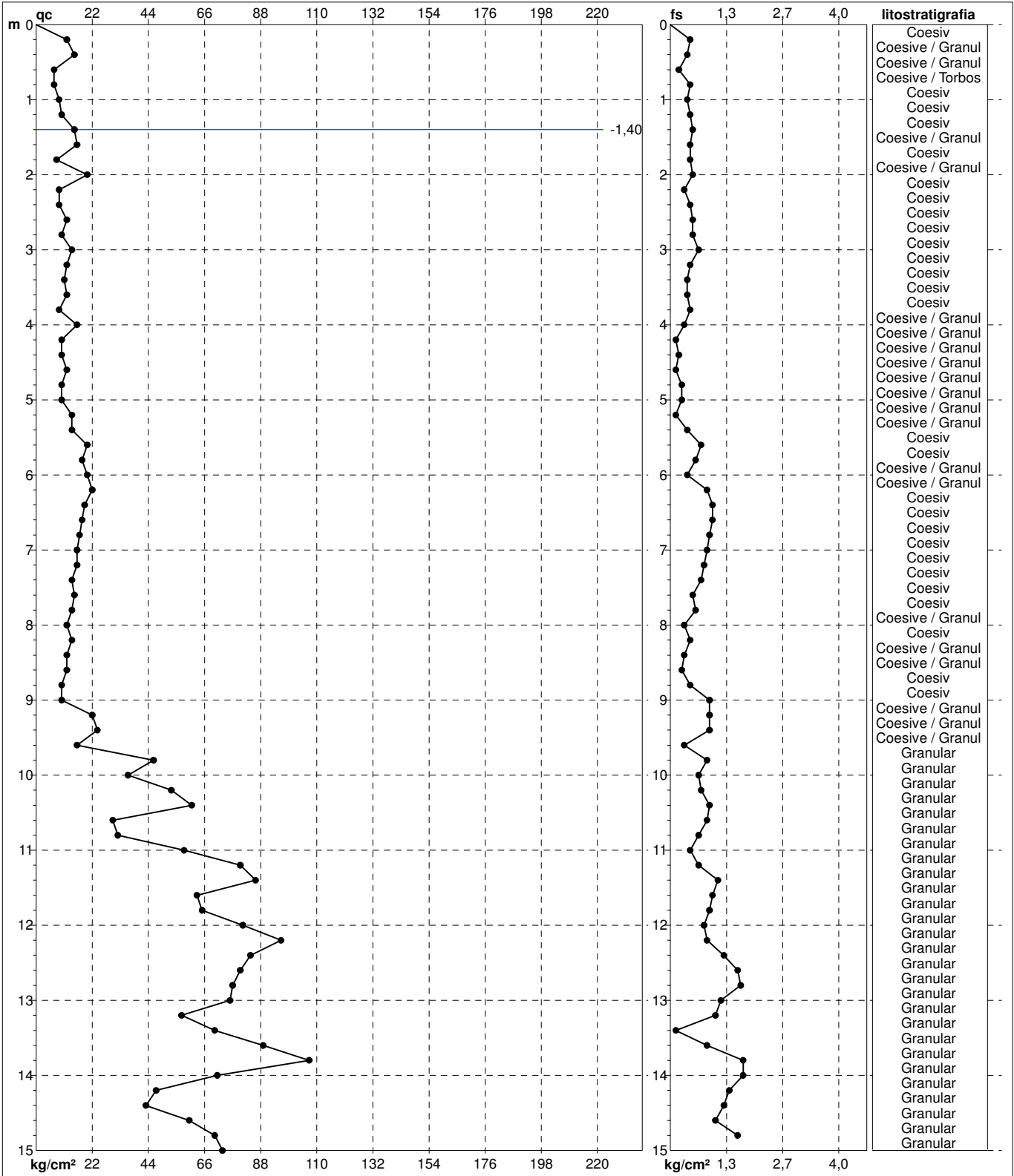
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	A4
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1,40 m da quota inizio**



Litologia:	Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	Preforo: m	
	Penetrometro: TG63-200		Corr.astine: kg/ml
	Responsabile:		
	Assistente:		Cod. punta:

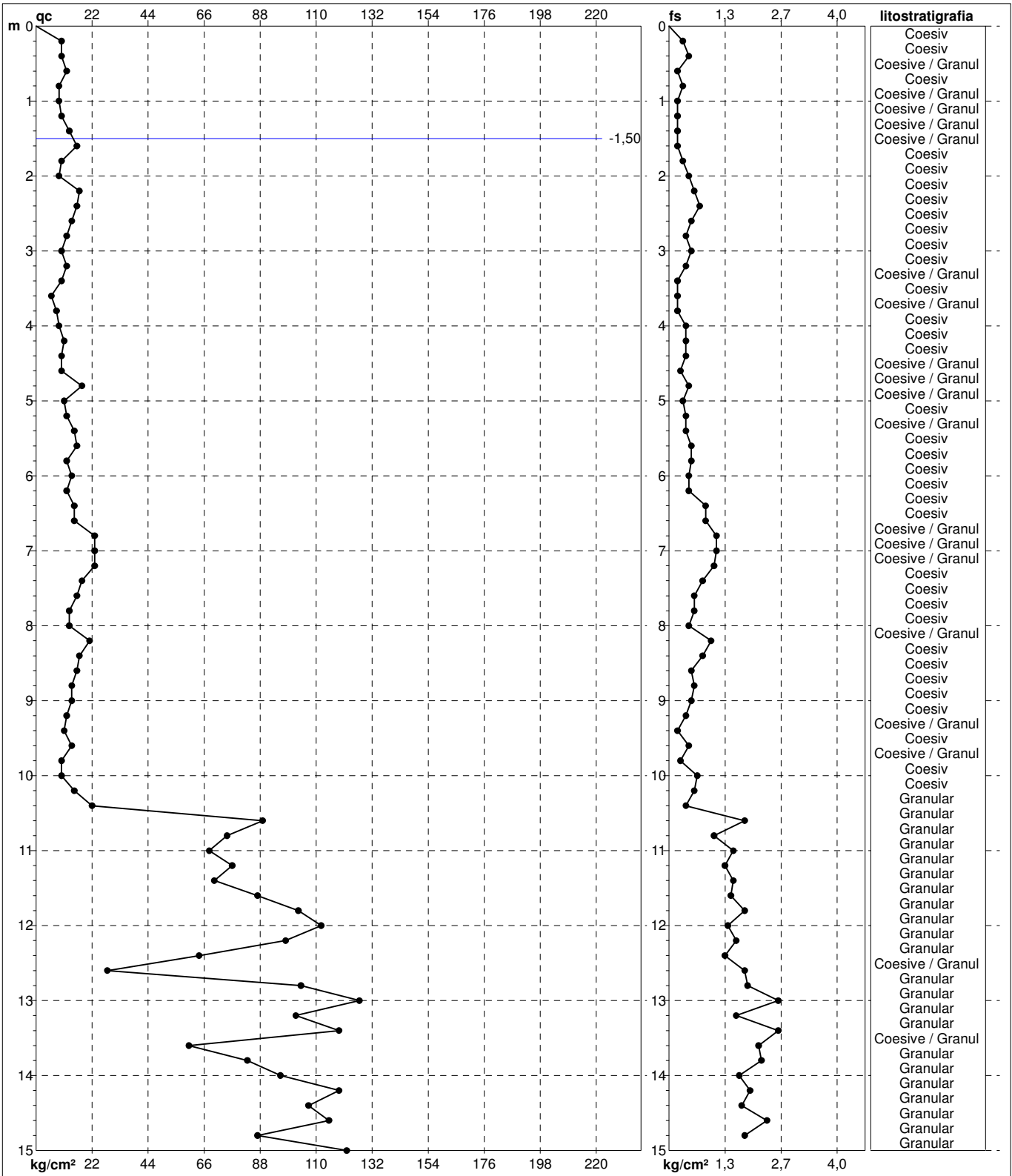
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT	A5
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
 Elaborato: Falda: **-1,50 m da quota inizio**



		Litologia: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Assistente: 	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod. punta:
--	--	---	--

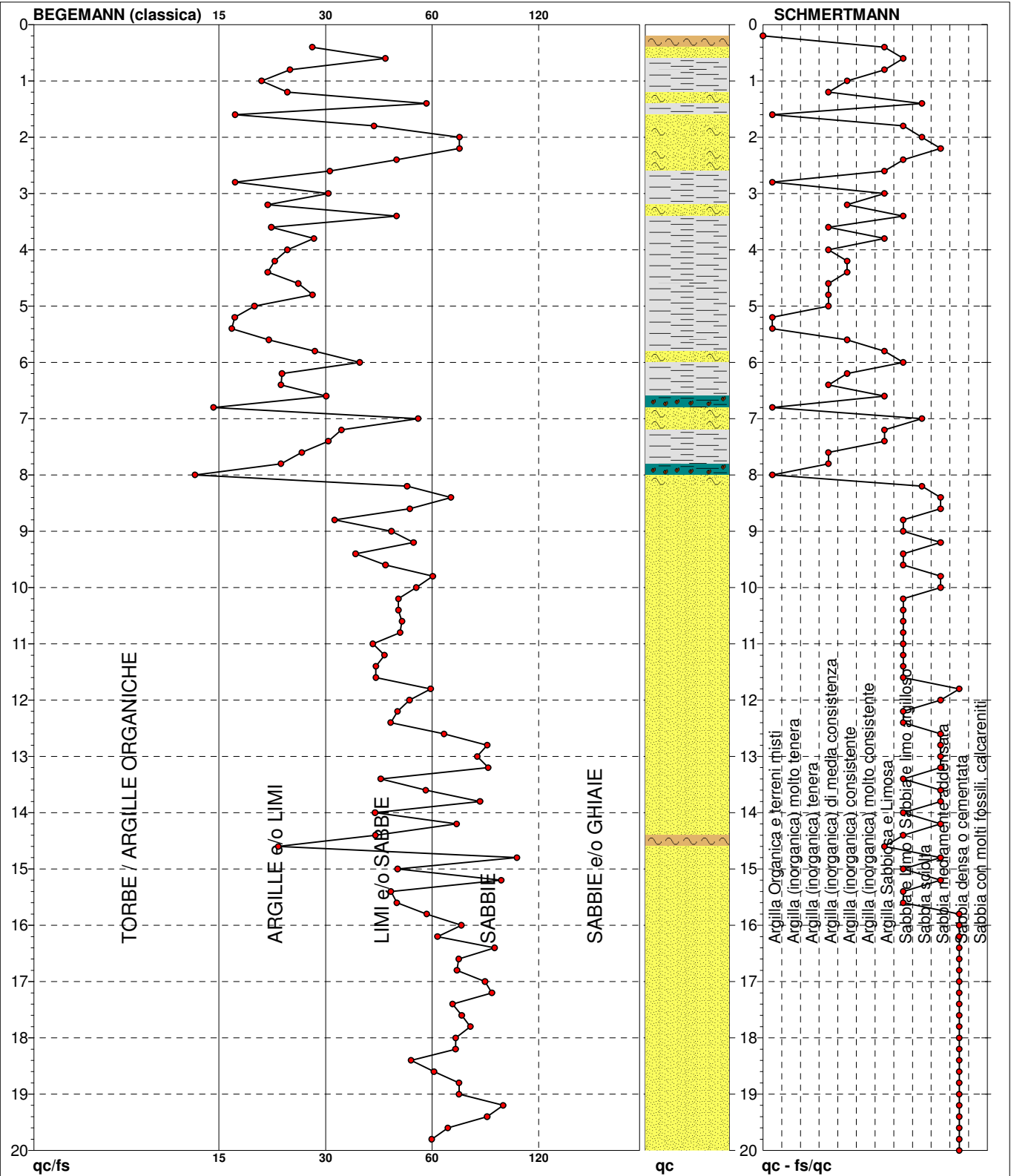
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	1
riferimento	2015-067*

Committente: **IMMOBILIARE IL QUADRIFOGLIO**
 Cantiere: **PIANO URBANISTICO ATTUATIVO "LE VILLE"**
 Località: **VIA MARTIRI DELLA LIBERTA', CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **15/04/2015**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -1,30 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	3 punti, 3,03%	Argilla Organica e terreni misti:	6 punti, 6,06%	Sabbie e Limi / Sabbie e limo arg.:	25 punti, 25,25%
Argille e/o Limi :	27 punti, 27,27%	Argilla (inorganica) media consist.:	9 punti, 9,09%	Sabbia sciolta:	4 punti, 4,04%
Limi e/o Sabbie :	42 punti, 42,42%	Argilla (inorganica) consistente:	6 punti, 6,06%	Sabbia mediamente addensata:	16 punti, 16,16%
Sabbie:	27 punti, 27,27%			Sabbia densa o cementata:	22 punti, 22,22%

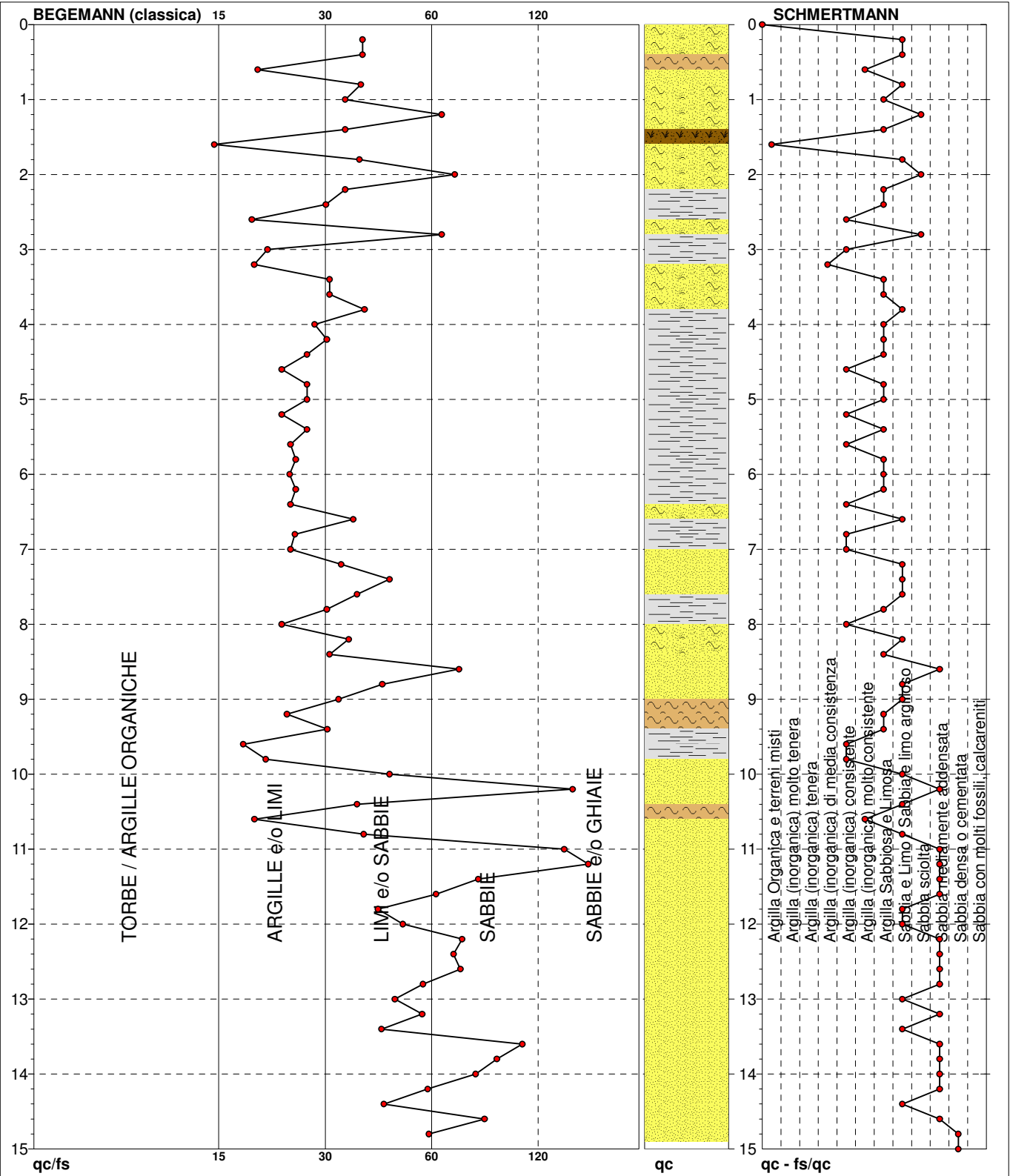
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	A1
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -1,70 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	1 punti, 1,35%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 1,35%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	19 punti, 25,68%
Argille e/o Limi :	27 punti, 36,49%	Argilla (inorganica) media consist.:	1 punti, 1,35%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	20 punti, 27,03%
Limi e/o Sabbie :	33 punti, 44,59%	Argilla (inorganica) consistente:	11 punti, 14,86%	Sabbia sciolta:	3 punti, 4,05%
Sabbie:	10 punti, 13,51%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 2,70%	Sabbia mediamente addensata:	16 punti, 21,62%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 4,05%			Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,35%

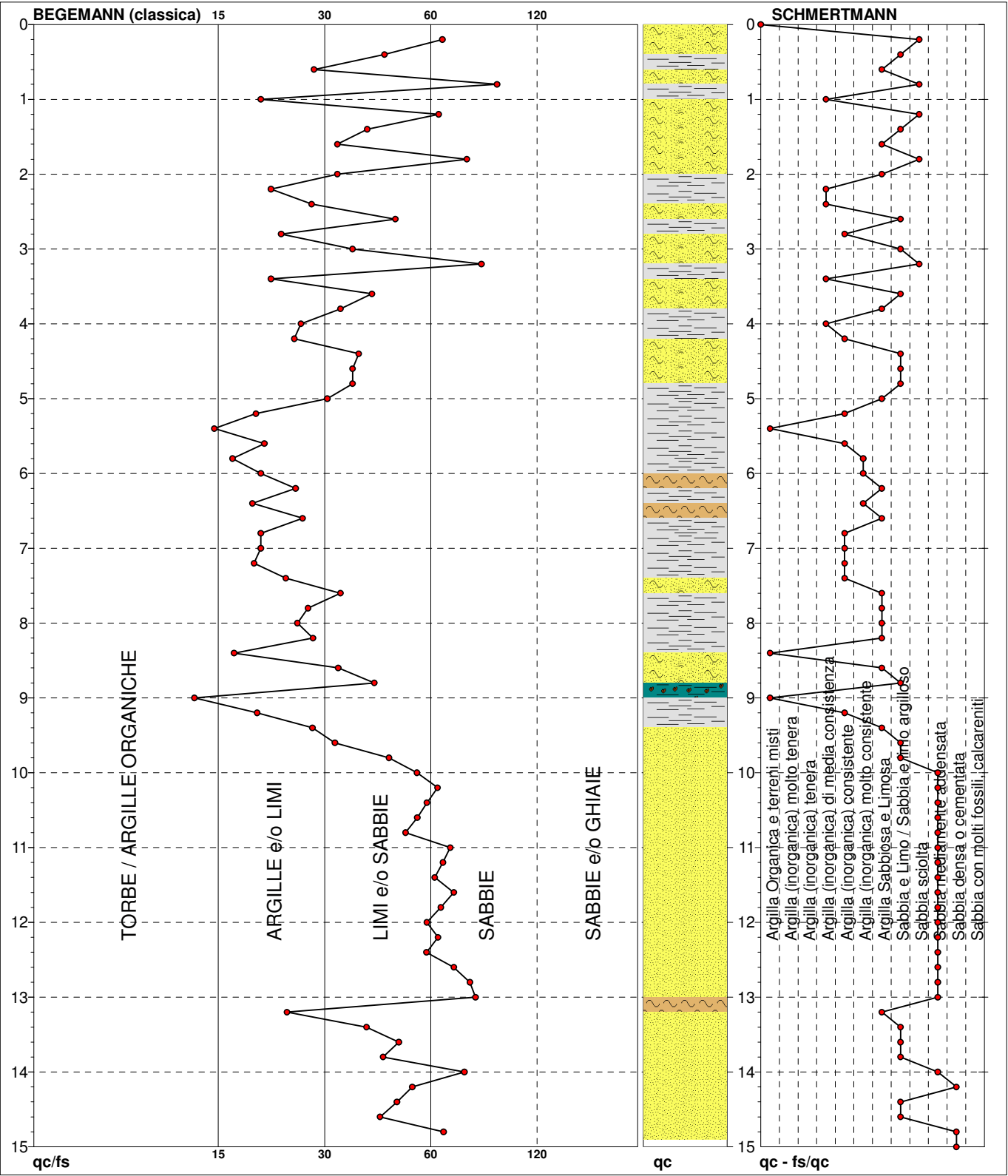
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	A2
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -1,60 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	1 punti, 1,35%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 4,05%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	14 punti, 18,92%
Argille e/o Limi :	28 punti, 37,84%	Argilla (inorganica) media consist.:	5 punti, 6,76%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	16 punti, 21,62%
Limi e/o Sabbie :	33 punti, 44,59%	Argilla (inorganica) consistente:	9 punti, 12,16%	Sabbia sciolta:	5 punti, 6,76%
Sabbie:	12 punti, 16,22%	Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 4,05%	Sabbia mediamente addensata:	17 punti, 22,97%
				Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,70%

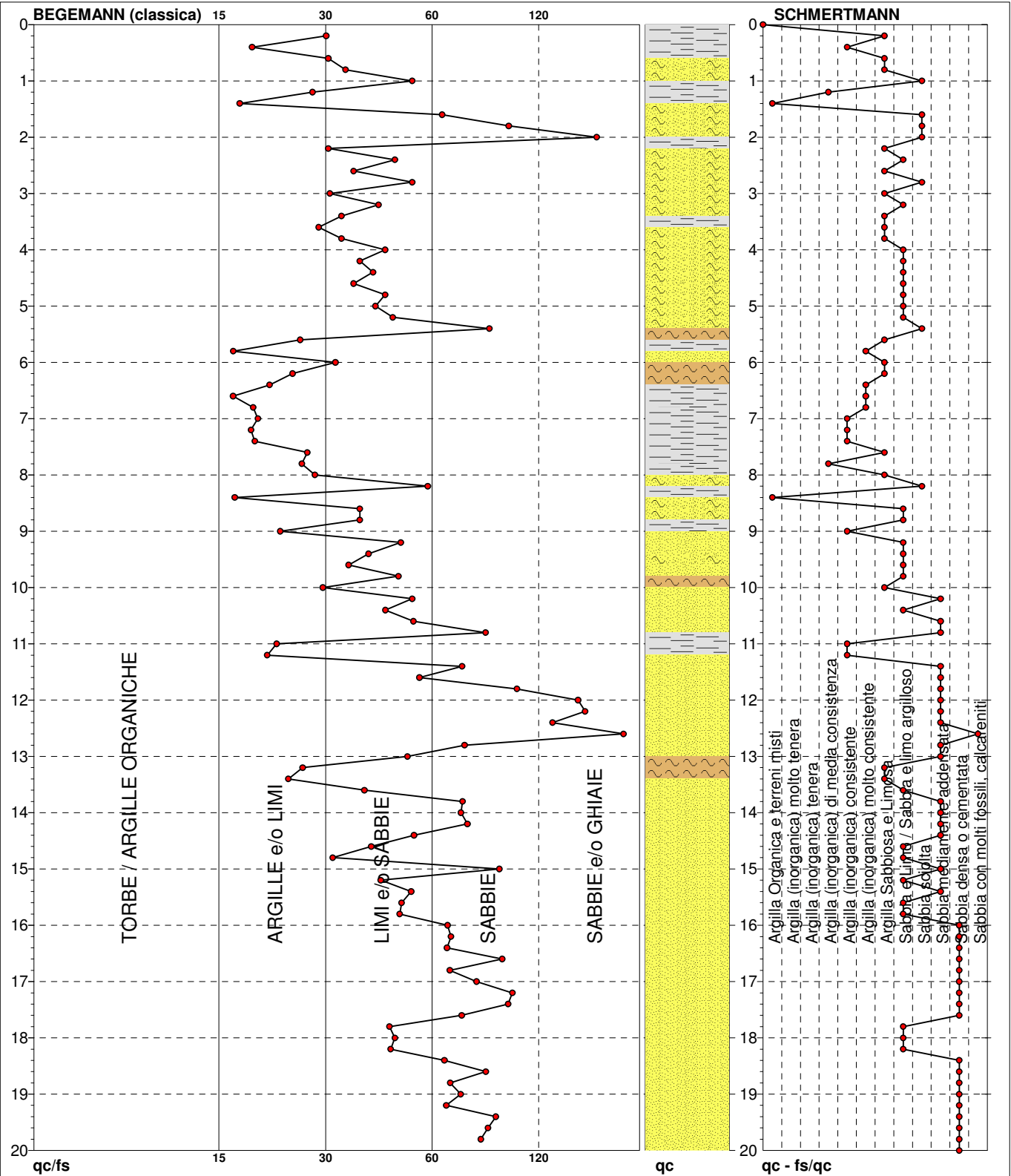
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	A3
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:100**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -1,40 m da quota inizio**



Argille e/o Limi :	26 punti, 26,26%	Argilla Organica e terreni misti:	2 punti, 2,02%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	17 punti, 17,17%
Limi e/o Sabbie :	41 punti, 41,41%	Argilla (inorganica) media consist.:	2 punti, 2,02%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	25 punti, 25,25%
Sabbie:	28 punti, 28,28%	Argilla (inorganica) consistente:	7 punti, 7,07%	Sabbia sciolta:	7 punti, 7,07%
Sabbie e/o Ghiaie :	4 punti, 4,04%	Argilla (inorganica) molto consist.:	4 punti, 4,04%	Sabbia mediamente addensata:	17 punti, 17,17%
				Sabbia densa o cementata:	17 punti, 17,17%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 1,01%

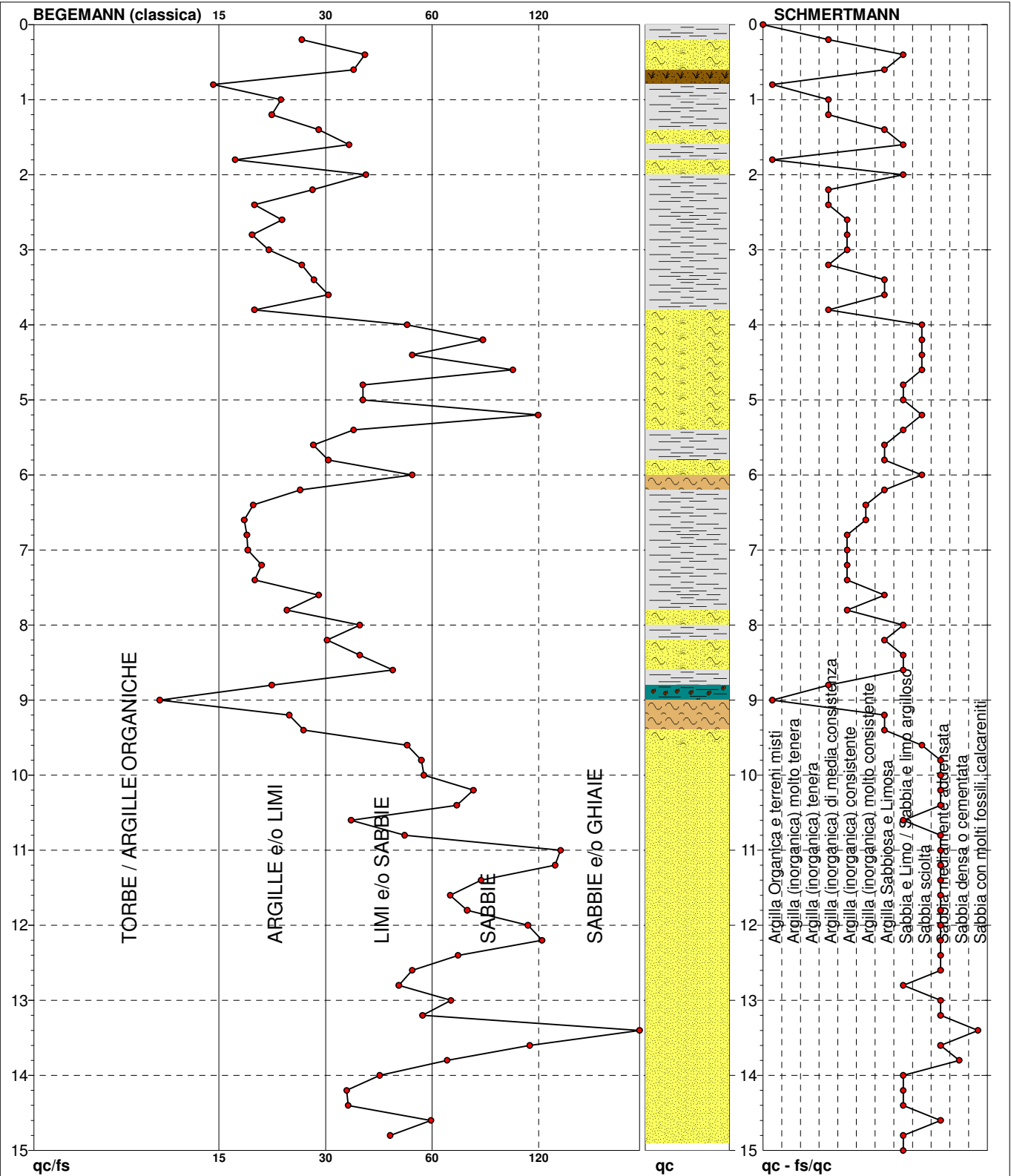
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	A4
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: 26/06/2011
 Scala: 1:75
 Pagina: 1
 Elaborato: Falda: -1,40 m da quota inizio



Torbe / Argille org. :	2 punti, 2,70%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 4,05%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	11 punti, 14,86%
Argille e/o Limi :	29 punti, 39,19%	Argilla (inorganica) media consist.:	8 punti, 10,81%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	15 punti, 20,27%
Limi e/o Sabbie :	26 punti, 35,14%	Argilla (inorganica) consistente:	8 punti, 10,81%	Sabbia sciolta:	7 punti, 9,46%
Sabbie:	15 punti, 20,27%	Argilla (inorganica) molto consist.:	2 punti, 2,70%	Sabbia mediamente addensata:	18 punti, 24,32%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 2,70%			Sabbia densa o cementata:	1 punto, 1,35%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punto, 1,35%

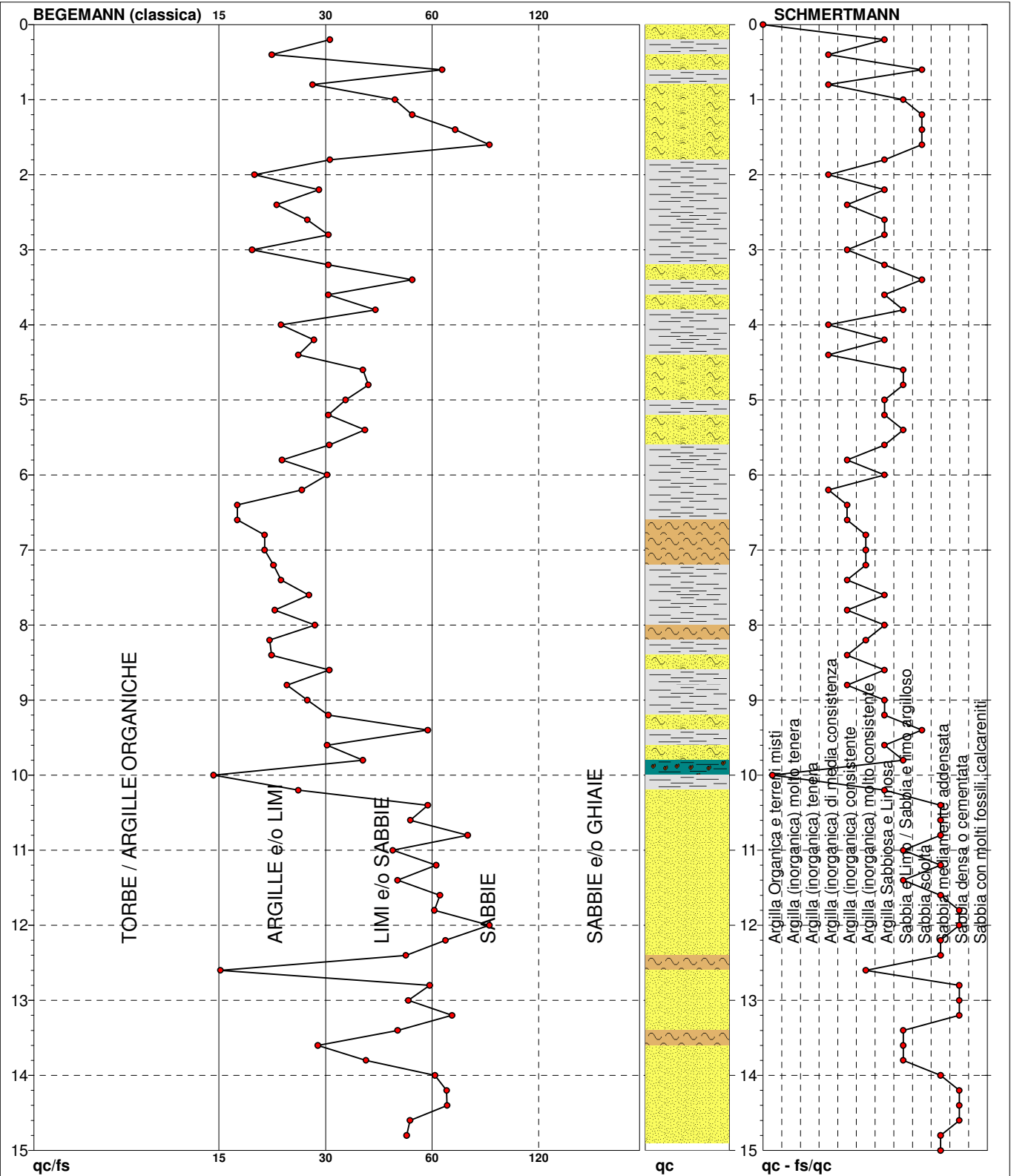
PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	A5
riferimento	184-11

Committente: **Dott. Geol. Francesco Gabrielli**
 Cantiere: **Nuova lottizzazione residenziale**
 Località: **Via Martiri della Libertà, Concordia sulla Secchia (MO)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg.: **26/06/2011**
 Scala: **1:75**
 Pagina: **1**
 Elaborato: **Falda: -1,50 m da quota inizio**



Torbe / Argille org. :	1 punti, 1,35%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 1,35%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	19 punti, 25,68%
Argille e/o Limi :	35 punti, 47,30%	Argilla (inorganica) media consist.:	6 punti, 8,11%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	11 punti, 14,86%
Limi e/o Sabbie :	30 punti, 40,54%	Argilla (inorganica) consistente:	9 punti, 12,16%	Sabbia sciolta:	6 punti, 8,11%
Sabbie:	8 punti, 10,81%	Argilla (inorganica) molto consist.:	5 punti, 6,76%	Sabbia mediamente addensata:	9 punti, 12,16%
				Sabbia densa o cementata:	8 punti, 10,81%

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dott. Francesco

Via G. Matteotti, 63 – 46025 Poggio Rusco (MN)

Tel.: 0386.733246 – Fax: 0386.733246 – E-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it

C.F. GBR FNC 69M26 G186J – P.IVA 02323450201

PROVINCIA DI MODENA COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA

PROGETTO DI PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI TIPO RESIDENZIALE DENOMINATO “LE VILLE”, IN VIA MARTIRI DELLA LIBERTA’ NEL COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO), IN ADESIONE AL PIANO OPERATIVO COMUNALE

COMMITTENZA:

IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l.

P.zza Roma, 1 – 41033 Concordia sulla Secchia

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE SULLA PERICOLOSITA’ SISMICA

ai sensi D.M. 14 Gennaio 2008 – D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328

IL GEOLOGO

FRANCESCO GABRIELLI



POGGIO RUSCO, MAGGIO 2015

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

INDICE

1 - PREMESSA.....	Pag. 2
2 - REFERIMENTI NORMATIVI.....	Pag. 2
3 - STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA.....	Pag. 3
3.1 Premessa.....	Pag. 3
3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico.....	Pag. 3
3.3 Indagine geofisica MASW.....	Pag. 6
4 - INTERPRETAZIONI DELLE MISURE ESEGUITE.....	Pag. 6
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE E STABILITA' DEL SITO.....	Pag. 12
6 - CONCLUSIONI.....	Pag. 21

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 1
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

1. PREMESSA

La presente relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base del sito, è stata redatta a supporto del progetto per il Piano Urbanistico Attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", da svilupparsi all'interno di un'area attualmente agricola, in fregio a Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO).

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 14.01.2008 e relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009.

Per la classificazione dei terreni di fondazione è stata eseguita una misura a stazione singola del microtremore sismico, mediante una strumentazione quale il tomografo portatile denominato TROMINO® che permette la misura della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale, associata ad un'indagine MASW per la definizione delle V_{s30} e della categoria sismica del sottosuolo, come richiesto dalle normative vigenti.

Per la verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione sono state utilizzate le risultanze della campagna di indagini geognostiche consistita nell'esecuzione di sei prove penetrometriche statiche eseguite in due periodi distinti, tra il mese di Giugno 2011 ed Aprile 2015, spinte alla profondità di 20 metri dal piano campagna.

La relazione si articola nel seguente modo:

- riassunto metodica impiegata;
- definizione della categoria sismica dei terreni di fondazione;
- definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- stabilità nei confronti della liquefazione;
- stima dell'entità dei cedimenti post-sismici.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La realizzazione del presente studio è stata eseguita in ottemperanza alle indicazioni fornite dalla normativa vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

Punto 7.11.3 – Risposta sismica e stabilità del sito

CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N. 617

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 2
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

"Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

"Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale".

D.P.R. 5 GIUGNO 2001, N. 328

Articolo 41 – Attività professionali

"punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica...;"

ASSEMBLEA LEGISLATIVA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA DAL D.A.L. N. 112/2007

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16 comma 1 della LR 20/2000 "disciplina generale sulla tutela ed uso del territorio", in merito a "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica"

3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA

3.1 Premessa

Ai fini del presente studio sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche;

- **n. 1 analisi del microtremore passiva con TROMINO** al fine di valutare l'intervallo all'interno del quale risuona il terreno fornendo un intervallo di frequenza di risonanza (fr), l'andamento delle velocità Vs con la profondità; il tipo di stratigrafia si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*.
Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.
- **n. 1 stendimento sismico attivo (MASW)** (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park et alii, 1999) al fine di valutare la risposta del terreno all'azione sismica, mediante la valutazione della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri sotto il piano di posa delle fondazioni (Vs30).

3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Verticale Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 3
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio Vs** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario, per affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme tecniche per le Costruzioni del 14 Gennaio 2008;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 metri di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Il principio su cui si basa la presente tecnica in termini di stratigrafia del sottosuolo è rappresentato dalla definizione di strato inteso come una unità distinta da quella sopra e sottostante per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
2. dal percorso dell'onda sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale è generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello *Tromino* che rappresenta la nuova generazione di strumenti leggeri e compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro con intervallo di

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 4
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

I dati ottenuti sono stati convertiti in file ASCII mediante software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti);
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali tra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
2. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
3. la misura non contenga errori sistematici (per esempio dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati, in qualsiasi intervallo di frequenze e in qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita; successivamente, tramite specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale. In questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde VS.

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V) con quello effettivamente misurato in superficie.

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la **frequenza di risonanza (fr)** è legata allo

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 5
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

spessore e alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1} / 4 h_1$$

V_{s1} = velocità delle onde S del primo strato;

h_1 = spessore primo strato.

Nakamura (1989) ha inoltre dimostrato che i massimi dei rapporti spettrali H/V consentono di individuare correttamente la frequenza e quindi il periodo fondamentale di risonanza per le onde S.

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects Assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

La registrazione è avvenuta impostando i seguenti parametri strumentali:

- Frequenza di campionamento 128 Hz;
- Durata 14 minuti;
- Orientamento strumento nord-sud.

3.3 Indagine geofisica MASW

Il metodo geofisico utilizzato in questa sede per la caratterizzazione della categoria di sottosuolo in base al valore delle V_s è la sismica a rifrazione attiva elaborata mediante metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves): essa permette di modellizzare il sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (Park et alii, 1999).

Il metodo consente di stimare la velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio).

La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula:

$$\mu = V_s^2 \rho \phi$$

dove:

- ϕ = densità;

Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di V_s sono i primi indicatori della rigidità di un terreno.

Le onde Rayleigh sono onde di superficie e sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (S_v) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza (no dispersione). Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 6
---	---	--------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

L'ampiezza dello spostamento decresce con legge esponenziale; per questo diviene rapidamente trascurabile con la profondità. La propagazione di queste onde non è influenzata dalle caratteristiche del mezzo al di sotto di una profondità pari a λ . Esse possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate: una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.



Il vantaggio di utilizzare il metodo MASW sta nel fatto che non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità in profondità; ha una buona risoluzione e poi perché la propagazione delle onde Rayleigh è funzione soprattutto delle V_s (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito).

Esso è particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

La dispersione è la deformazione di un treno d'onda dovuta ad una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per la onde Rayleigh questa deformazione non si manifesta all'interno di un semispazio omogeneo ed isotropo ma solo quando questi presenta una stratificazione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (quindi frequenza) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di circa $\lambda/2$. Tale velocità delle onde di Rayleigh (V_r) è pari a circa il 90% delle onde di taglio V_s .

Per le indagini è stato utilizzato un tromografo digitale portatile TROMINO, prodotto da Micromed S.p.A., nella versione Engineering, combinato con un trigger wireless equipaggiato di puntale, con frequenza propria di 4,5 Hz.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le tre componenti spaziali (N-S, EW e Up-Down), che consentono di acquisizione digitale in alta definizione delle vibrazioni del terreno (ampiezze d'onda inferiori a $10 \mu\text{m}$), nel campo delle frequenze 0 – 200 Hz.

In seguito ad una registrazione di un determinato tempo t , tale segnale digitalizzato viene elaborato tramite un software dedicato, Grilla, il quale esegue un'elaborazione per ognuna delle componenti del moto e ne fornisce i grafici relativi. L'abbinamento tra Tromino Engy e il trigger wireless consente di effettuare stendimenti sismici senza limitazioni di estensione. La presenza di un unico geofono, detto starter in quanto

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 7
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

registra i primi arrivi delle onde sismiche, impone il suo spostamento continuo secondo le posizioni dello schema prestabilito.

Lo stendimento aveva una lunghezza di 48 m con il primo geofono a distanza di 2,0 m dal Tromino mentre l'interdistanza tra le altre posizioni del geofono era di 2,0 metri; l'energizzazione, ottenuta tramite un salto effettuato dall'operatore, è avvenuta a 1,0 m di distanza dallo starter lungo l'asse geofono-Tromino.

Da tale stendimento viene elaborato un sismogramma definito "virtuale" in quanto non deriva dalla registrazione simultanea di più geofoni, ma i segnali di ogni energizzazione vengono composti in un unico sismogramma tramite software dedicati.

L'elaborazione del segnale registrato si compone dei seguenti passaggi:

1. picking dei primi arrivi sulla traccia di registrazione del geofono;
2. ricostruzione del sismogramma delle tracce registrate dal sismografo (Tromino) tramite software Grilla;
3. selezione per ogni traccia delle finestre temporali contenenti onde superficiali di Rayleigh;
4. calcolo della curva di dispersione sperimentale tramite software dedicato.

La curva di dispersione fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate).

4. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

Interpretazione indagine HVSR

L'interpretazione dei dati ottenuti dal rilievo del rumore sismico consente sia di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato litoide inteso come bedrock sismico sia di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del moto fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore della frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco di frequenza corrisponde una profondità (metri) dell'orizzonte che genera il contrasto di impedenza si è potuto estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L'ampio range di frequenze acquisite dallo strumento utilizzato (0.1 ÷ 128 Hz) non ha evidenziato contrasti di impedenza attribuibili alla presenza di rifrattori sismici.

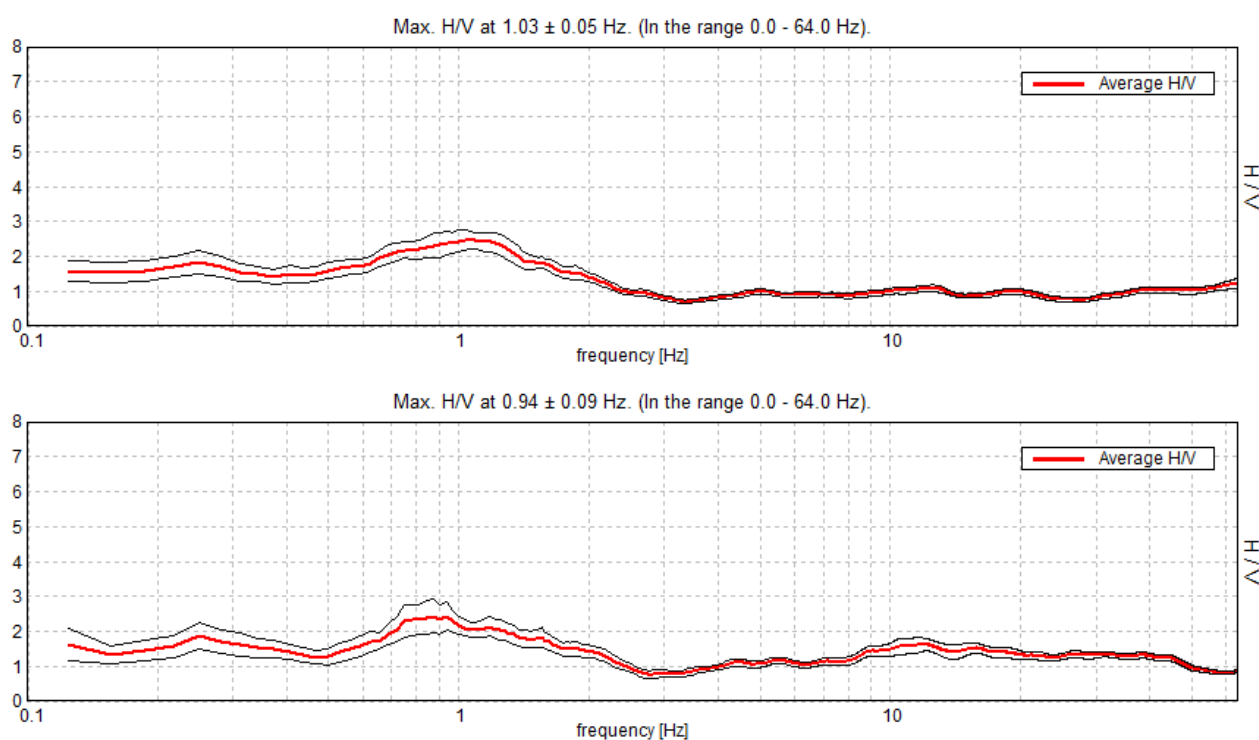
Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 83 metri, corrispondente al riflettore individuato dal picco a 1,03 Hz, che rappresenta la frequenza fondamentale del terreno (generato dal contrasto sismico più elevato). La frequenza di risonanza di interesse ingegneristico e strutturale è risultata compresa tra 0,90 e 1,10 Hz, con valore del rapporto H/V pari a 2,50

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 8
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

(impedenza media). Si ritiene importante, vista l'ampiezza dei picchi spettrali registrati, considerare l'intervallo frequenziale di circa 0,90 – 1,10 Hz come range di possibili valori di vibrazione del terreno in caso di evento sismico di magnitudo rilevante poiché d'interesse ingegneristico – strutturale (Periodo T compreso tra 1,00 e 1,11).

E' oramai consolidata, l'ipotesi che le costruzioni subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale dei terreni investiti da un'onda sismica e quella naturale della struttura.



E' stata riconosciuta una inversione di velocità per la presenza di un sismostrato soffice intercalato tra sismostrati più rigidi (velocità di onde di taglio maggiore), tra la frequenza di 3 e 4 Hz.

La qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee Guida 2005) è stato giudicato affidabile in quanto per l'affidabilità della curva HVSr i primi tre parametri sono positivi mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

Interpretazione prova MASW

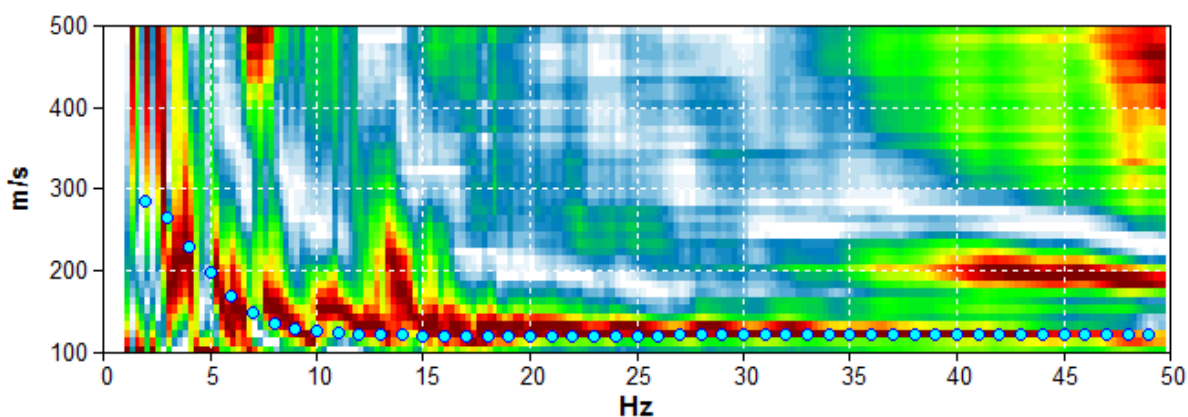
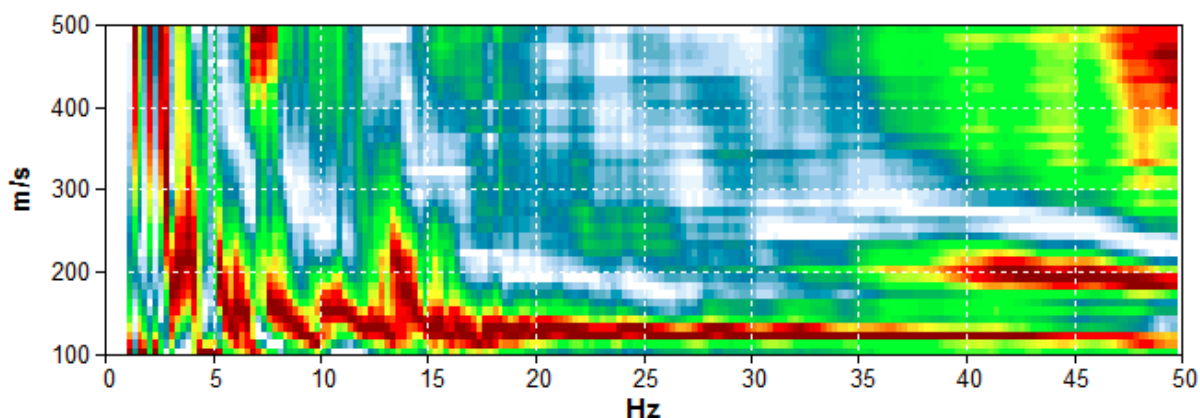
E' stata eseguita un'indagine geofisica mediante il metodo MASW attivo, consistita in uno stendimento sismico, finalizzata alla determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore VS₃₀.

La curva di dispersione ottenuta fornisce con una scala cromatica l'intensità della risonanza delle onde di Rayleigh alle varie frequenze (asse delle ascisse) e la relativa velocità delle onde (asse delle ordinate).

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 9
---	---	--------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

A questo punto è possibile procedere con l'interpretazione della misura. Il grafico risultante dalla misura consente lo studio e l'elaborazione dei dati relativi al primo modo di vibrare del terreno, individuato come la curva definita dai colori caldi con velocità e frequenza minore. Nel grafico è possibile riconoscere gran parte della curva di dispersione fondamentale, con tratti ben visibili compresi 50 e 2 Hz, frequenza alla quale la curva tende ad un valore di Vs infinito, indicando il limite strumentale della misura.



Curva di dispersione del sito e fit per la costruzione del modello sintetico

Dal grafico è possibile ricostruire la successione sismo-stratigrafica, individuando i cambi di pendenza della curva di dispersione del modo fondamentale.

Interpretazione combinata delle misure sismiche

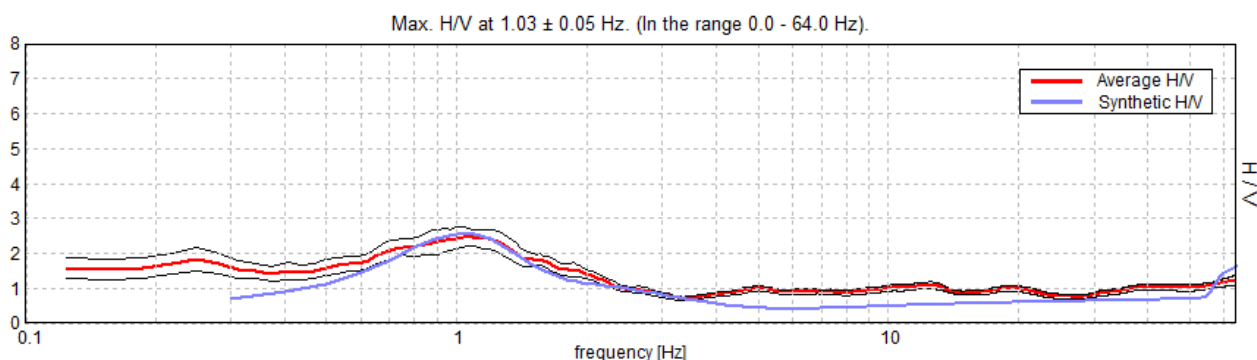
Per ovviare alla limitata profondità di indagine della prova MASW si è proceduto con l'interpretazione della misura tomografica effettuata nello stesso ambito, utilizzando come vincolo il modello creato a partire dallo stendimento.

L'elaborazione della misura, mediante ricostruzione della curva sintetica H/V, è riuscita a riprodurre con buona approssimazione la curva HVSR registrata, fornendo il profilo sismico del sito. La ricostruzione del

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 10
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

modello di inversione evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.



La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

Il modello di inversione proposto derivata dall'indagine dei microtremori H/V è presentato in TABELLA 1.

TABELLA 1 – MODELLI DI INVERSIONE

Profondità (bottom layer) [m]	Spessore sismostrati [m]	Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
0.25	0.25	85	Copertura pedogenizzata
2.55	2.30	155	Copertura soffice
8.25	5.70	140	Copertura soffice
16.25	8.00	180	Copertura soffice
33.25	17.00	230	Copertura soffice
63.25	30.00	290	Copertura mediamente rigida
83.25	20.00	345	Copertura mediamente rigida
>83.25	inf.	400	Copertura mediamente rigida

La ricostruzione dei profili sismo-stratigrafici ha evidenziato la presenza di materiali soffici e poco consistenti nei primi 33 metri di profondità, caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde S compresa tra 140 e 230 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità del sottosuolo diventa gradualmente elevato, con valori di Vs compresi tra 290 e 400 m/s.

Il bedrock sismico non è stato individuato fino alla massima profondità investigata.

L'elaborazione dei dati sperimentali ottenuti dall'indagine MASW, finalizzata alla determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore VS₃₀, ha evidenziato il seguente modello di inversione.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 11
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Profondità (bottom layer) [m]	Spessore sismostrati [m]	Vs [m/s]	Interpretazione stratigrafica
2.60	2.60	130	Copertura pedogenizzata
8.20	5.60	125	Copertura soffice
15.80	7.60	200	Copertura soffice
23.80	18.00	235	Copertura soffice
34.80	11.00	265	Copertura soffice
>34.80	inf.	325	Copertura mediamente rigida

La ricostruzione dei profili sismo-stratigrafici ha evidenziato la presenza di materiali soffici e poco consistenti nei primi 35 metri di profondità, caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde S compresa tra 125 e 265 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità del sottosuolo diventa gradualmente elevato, con valori di Vs di oltre 265 m/s.

E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{Si}}$$

in cui h_i e V_{Si} indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione,

la velocità delle onde VS a 30 metri dal piano di posa delle fondazioni (V_{S30}), poste ad un metro da piano campagna, come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

- Analisi microtremori HVSR $V_{s30} (1.00-31.00) = 188 \text{ m/s}$
- Indagine geofisica MASW $V_{s30} (1.00-31.00) = 192 \text{ m/s}$

5. RISPOSTA SISMICA LOCALE E STABILITA' DEL SITO

Definizione delle V_{S30} e della "categoria di sottosuolo"

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria C**:

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s".

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 12
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Amplificazione topografica

Gli effetti topografici possono essere trascurati in quanto la superficie topografica, poiché il sito è ubicato in una ampia area pianeggiante, può essere classificata come appartenente alla

categoria T1:

"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ "

Per tale categoria si assume quale valore del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

Coefficienti di amplificazione sismica

Per la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica ci si è avvalsi delle tabelle e delle formule contenute nell'Allegato 2 della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 112 – Oggetto n. 3121 del 2 Maggio 2007, le quali permettono di calcolare i fattori di amplificazione rispetto ad un suolo di riferimento.

Tali fattori espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale PGA/PGA_0 , sia di rapporto di Intensità Housner SI/SI_0 , per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti in ogni comune, ricavabili dal database regionale e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

- $PGA/PGA_0 = 1,50$
- $SI/SI_0 = 1,80$ $0,1s < T_0 < 0,5 s$
- $SI/SI_0 = 2,30$ $0,5s < T_0 < 1,0 s$

La tabella cui ci si riferisce fa riferimento ad una pianura caratterizzata da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 metri da p.c.) (PIANURA 2).

Amplificazione stratigrafica: Tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento (0,127g) (Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica, 2007 – Allegato A4 tab.2), del coefficiente di amplificazione stratigrafico (1,70), definito dal Piano della Ricostruzione del Comune di Concordia sulla Secchia, e del coefficiente topografico (1,0), **l'accelerazione alla sommità del deposito** (o accelerazione massima orizzontale al suolo) risulta:

$$a_{MAX(g)}=0,216g$$

Pericolosità sismica locale – Effetti di sito

Per la valutazione della pericolosità derivante dalla sollecitazione sismica, vengono analizzati sia la presenza di eventuali situazioni di pericolosità indotte dai fattori locali quali quelli geologici, geomorfologici, sia di discontinuità tettoniche presenti nell'area che possono amplificare le vibrazioni sismiche esaltandone gli effetti.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 13
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

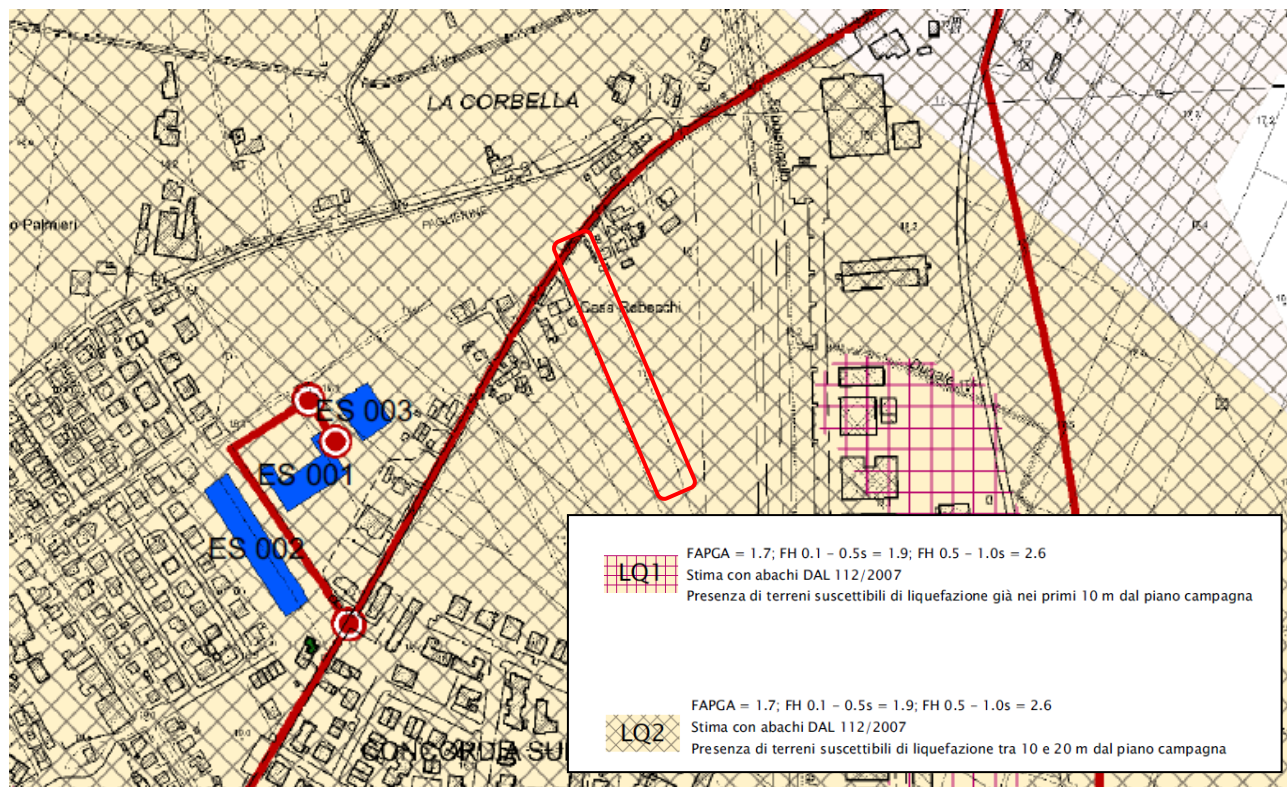


Tavola Q.7 scala 1:10000

CONFRONTO TRA LA MICROZONAZIONE SISMICA E L'ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE PER L'EMERGENZA

L'indagine è mirata a definire se esistono condizioni per un'esaltazione degli effetti di un'onda sismica a causa della presenza di una o più delle seguenti condizioni:

- presenza di faglie o fratture maggiori collegate alle faglie principali, quindi rottura di faglia in superficie;
- instabilità di pendii nei confronti dell'azione sismica;
- linee di cresta marcate o bruschi cambiamenti di pendenza, come bordi di terrazzi fluviali o cigli di scarpate naturali e artificiali o nicchie di distacco di frane;
- contatti geologici, stratigrafici o strutturali che mettano a contatto terreni a differente risposta sismica;
- presenza di coltre detritiche sui versanti;
- vicinanze a scarpate di grande altezza soggette a fenomeni di crollo o rotolamento di blocchi rocciosi;
- presenza di falda freatica a profondità inferiore a 15 metri dal p.c. con sottosuolo costituito da terreni granulari specie se a scarsa assortimento granulometrico; problemi di liquefazione;
- eccessivo addensamento in caso di terremoto.

L'area in oggetto risulta prossima a diversi lineamenti tettonici denominati rispettivamente "Vallalta", "Concordia sulla Secchia", "Mirandola" e "Massa Finalese", considerati in letteratura come "faglie capaci", cioè potenzialmente in grado di creare deformazioni in superficie (database "Ithaca" da www.apat.gov.it). E'

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 14
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

altrettanto vero che tali lineamenti tettonici, a parte gli eventi sismici del Maggio 2012, non hanno mai generato in passato fenomeni sismici particolarmente significativi nella bassa pianura modenese. I principali effetti dei sismi riconducibili alla natura del sito e dei terreni sono funzione della composizione granulometrica, dell'addensamento dei depositi nonché dalla profondità della falda acquifera.

Per zone con caratteristiche analoghe a quella indagata, i principali fenomeni potenzialmente collegati ad un sisma sono:

- la *liquefazione* dei terreni incoerenti fini saturi;
- la *densificazione* dei depositi granulari sciolti asciutti;
- *cedimenti* anche differenziali dei terreni coesivi, limo-argillosi.

Valutazione del potenziale di liquefazione

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \cdot \tan \phi$$

con:

c = coesione del terreno;

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità di indagine;

u = pressione interstiziale dell'acqua;

ϕ = angolo di resistenza al taglio del terreno

è evidente che la grandezza τ si può annullare solo nel caso in cui si siano verificate le condizioni:

1. $c = 0$;
2. $(\sigma_{v0} - u) = 0$.

La condizione 1 vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreno coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica; la condizione 2 si verifica, quando la pressione interstiziale eguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità della colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto da una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso. In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per produrre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico. In definitiva, un'elevata magnitudo del sisma e una lunga durata dello stesso rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito a prevalenza sabbiosa. Dall'analisi dei

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 15
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

fattori che predispongono un terreno alla liquefazione, tra i quali la granulometria, la profondità del livello potenzialmente liquefacibile, il grado di addensamento dei depositi, in linea generale si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti costituiti da sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%, si trovano sotto falda, sono da poco a mediamente addensati e si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori a 15 metri). Per la presenza di depositi granulari/incoerenti con spessori > 1,00 m e saturi d'acqua, si ritiene necessario eseguire la verifica a liquefazione.

Come indicato nella DAL n. 112/2007, tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove CPT e tra questi in particolare il metodo di Robertson e Wride (1998). Per il presente studio sono state quindi realizzate le verifiche della propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma sulle verticali delle prove penetrometriche statiche eseguite.

Per i calcoli è stato utilizzato il programma "Cliq 1.7" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione con il Prof. Peter Robertson.

L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Robertson e Wride (1998), recentemente aggiornato dallo stesso P.K. Robertson (2009-2010).

Le analisi eseguite seguono le procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Lo stesso software esegue il calcolo dei cedimenti attesi secondo il metodo proposto da Zhang ed al. (2002), calcolando per tutti i livelli che hanno un fattore di sicurezza inferiore a 2.

Il potenziale di liquefazione si ottiene eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FS_L , definito dal rapporto CRR su CSR.

La metodologia utilizzata permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso il confronto tra le caratteristiche granulometriche e di addensamento del deposito, espresse dai valori della resistenza penetrometrica q_c normalizzati con lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR e CSR), ottenuti mediante le seguenti relazioni:

$$CSR = 0,65 \cdot (a_{max}) / (g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}') \cdot r_d \cdot 1 / (MSF \cdot K\sigma)$$

dove: a_{max} = accelerazione sismica di picco al piano campagna;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

σ_{vo}' = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma;

$K\sigma$ = coefficiente correttivo funzione delle tensioni efficaci alla profondità interessata.

$$CRR_{7,5} = 0,833 \cdot [(q_{cIN})_{cs} / 1000] + 0,05 \quad q_{cIN} \leq 50$$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 16
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

$$CRR_{7,5} = 93 \cdot [(q_{c1N})_{cs} / 1000]^3 + 0,08 \quad 50 \leq q_{c1N} \leq 160$$

dove: $(q_{c1N})_{cs}$ = resistenza penetrometrica statica normalizzata e corretta per l'influenza del contenuto in fini.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione FS_L è definito dal rapporto CRR su CSR:

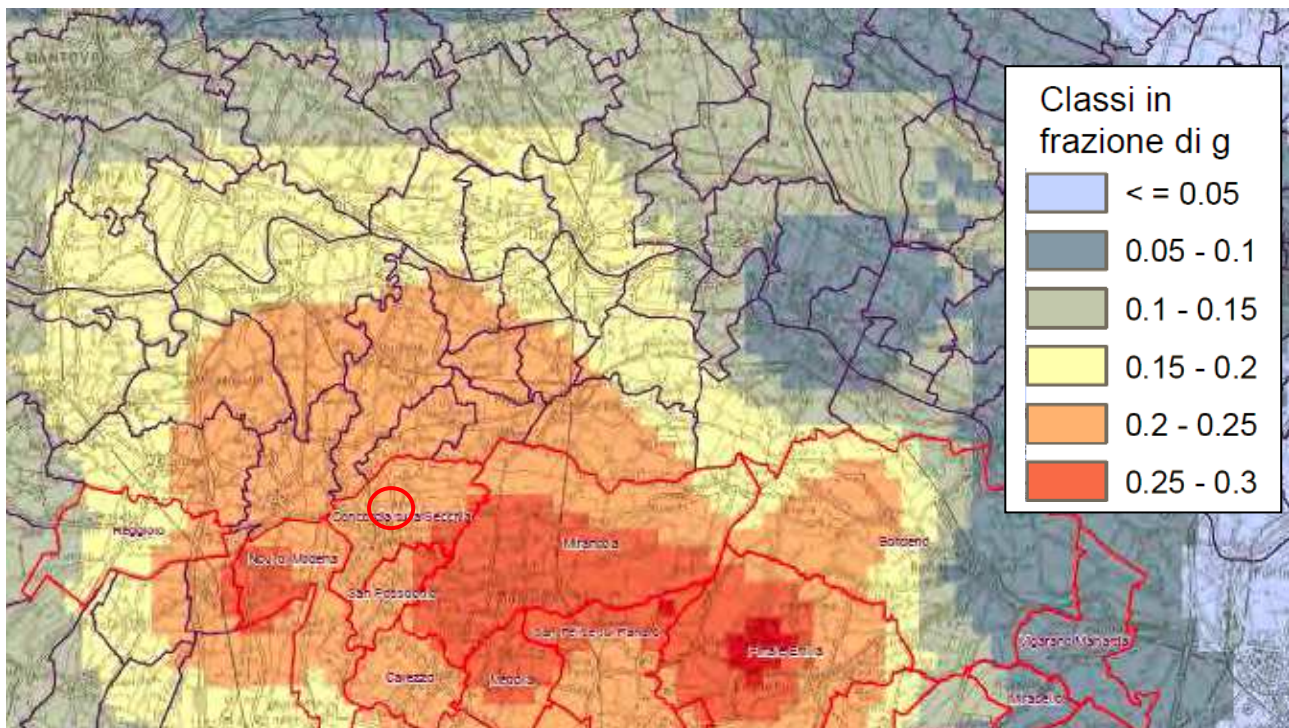
$$FS_L = CRR \cdot MSF / CSR$$

La liquefazione è in relazione al fattore di sicurezza nel seguente modo:

- $FS_L > 1,25$ **liquefazione assente**
- $1,0 < FS_L < 1,25$ **liquefazione possibile**
- $FS_L < 1,00$ **liquefazione molto probabile**

I parametri di input sono stati scelti in maniera ragionata sulla base delle conoscenze acquisite, in modo da risultare i più cautelativi possibili:

- $M_w = 6,14$ ($M_{w_{max}}$ Zona 912 di ZS9, come suggerito dagli ICMS);
- $a_{max} = 0,22g$;
- quota piezometrica misurata: posta a 2,00 m da p.c.;
- quota piezometrica da sisma: posta sempre a -1,00 m da p.c.



Massime PGA osservate durante gli eventi sismici del Maggio 2012 - (solo componenti orizzontali)

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Per il dettaglio delle verifiche eseguite si rimanda negli allegati, in cui sono riportati i report del software per i quali sono indicati i parametri di input utilizzati e sono rappresentati in forma grafica gli andamenti con la profondità del fattore o sicurezza, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi; di seguito se ne presenta un estratto.

Il litosoma sabbioso, il cui tetto è stato riscontrato alla profondità di 8,00/9,00 metri circa da p.c., presenta valori di FS_L generalmente superiori a 1,25, soprattutto con l'aumento della profondità (liquefazione assente); alcuni livelletti con spessore massimo di 40 cm, evidenziano valori del fattore di sicurezza FS_L compresi tra 1,00 e 1,25 (uguale probabilità che la liquefazione possa avvenire o non)

Al termine della procedura è stato valutato l'indice del potenziale di liquefazione I_L (Iwasaki et al., 1982) che viene così definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$; ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Le categorie individuate dalla presente metodologia sono le seguenti:

$$0 < I_L \leq 5 \rightarrow \text{Rischio di liquefazione "basso"}$$

$$5 < I_L \leq 15 \rightarrow \text{Rischio di liquefazione "elevato"}$$

$$I_L > 15 \rightarrow \text{Rischio di liquefazione "estremamente elevato"}$$

Lo svolgimento dei calcoli, dai quali si ottengono valori cumulativi rispettivamente di $I_L = 0,00$ e $0,0$, permette di definire un rischio liquefazione **molto basso** (Indice di Sonmez < 2,50).

CEDIMENTI POST SISMICI

In condizioni di sisma vi possono essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi e che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi.

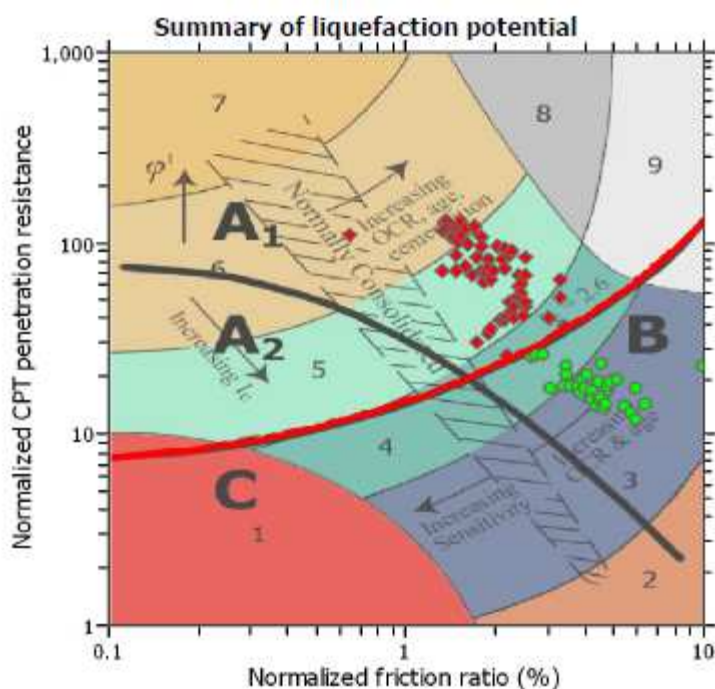
Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato"), provocate da perdite di resistenza.

Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004-2007). Per la stima dei cedimenti post sisma, si è proceduto alla verifica basata sulla classificazione di comportamento di tutti i terreni proposta da Robertson (1990; 2009).

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 18
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

La figura seguente propone il diagramma (Qtn-F) di classificazione nel quale si distinguono le zone di potenziale liquefazione e/o di "cyclic softening".



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

RISULTANZE INDAGINI PENETROMETRICHE - CLASSIFICAZIONE DI P.K. ROBERTSON (2009)

Le zone A1 e A2 corrispondono ai sedimenti di bassa coesione attribuibili a comportamento granulare e suscettibili di liquefazione ciclica, in particolare i sedimenti che ricadono nella zona A2 risultano più suscettibili a perdite anche significative di resistenza in caso di sisma; le Zone B e C ($I_c > 2,6$) corrispondono invece ai terreni coesivi a comportamento argilloso ed entrambi sensibili a "cyclic softening", in particolare i sedimenti che ricadono nella zona C risultano più suscettibili a perdite di resistenza post-sisma.

Limi non plastici saturi spesso cadono nella zona C, tuttavia, il loro CRR è fortemente controllato dalla coesione non drenata c_u .

Nella medesima figura è riportato, inoltre, il plottaggio dei risultati dell'indagine CPT: si evince che i sedimenti a comportamento granulare ($I_c > 2,60$), si distribuiscono in parte nel campo A1 (sabbie pulite e sabbie limose) e in parte nel campo A2 (miscela di sabbie – da sabbie limose e limi sabbiosi). I depositi fini ricadono quasi esclusivamente nella zona B.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 19
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

Considerando che la verifica ha tenuto conto di un livello piezometrico in caso di sisma pari a -1 m, l'analisi è stata impostata sia sulle tessiture granulari, sia su quelle fini, in condizioni sature.

Cedimenti post-sismici in terreni granulari

Nei sedimenti saturi a comportamento granulare, in particolare, si è proceduto alla stima automatica dei cedimenti utilizzando la recente procedura di Robertson (2009).

L'approccio si basa sulla valutazione delle deformazioni volumetriche post-cicliche e calcola i cedimenti sulla base dell'entità del fattore di sicurezza alla liquefazione FL calcolato (se <1,25) e sulla base degli esiti di densità relativa Dr desunti dalle resistenze di punta (qc1N)cs, in accordo con le correlazioni per le stime dei cedimenti di post-liquefazione nelle sabbie sature da prove CPT proposte da Zhang et Al. (2007).

I risultati cumulativi dei cedimenti indotti da sisma sono anch'essi stati calcolati attraverso il software Cliq v. 1.7.5.27 della Geologismiki Geotechnical Software e riportati graficamente in allegato: in sintesi, si è ottenuto in valore del cedimento post sismico in terreni granulari saturi pari a **1,59 cm**.

Cedimenti post-sismici in terreni coesivi

Per i sedimenti fini coesivi a comportamento fine (zone B e C), il cedimento è causato principalmente da fenomeni di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto e al manifestarsi di deformazioni da taglio indotte dalle sollecitazioni cicliche.

Generalmente, le deformazioni di riconsolidazione post-sisma sono ritenute molto più piccole di quelle osservate nei sedimenti granulari ed i cedimenti rilevati in seguito a sismi recenti (Loma Prieta; Chi-Chi; Kocaeli) risultano statisticamente modesti anche per potenti intervalli di depositi di argille compressibili (Boulanger and Idriss, 2007).

Nella letteratura scientifica si reputa che le deformazioni volumetriche medie di strati a grana fine siano contenute entro l'1%.

Inoltre, in riferimento al verificarsi di eventuali problematiche legate alla compressibilità dei livelli coesivi superficiali, argillosi e argilloso-limosi, caratterizzati da permeabilità da molto bassa a praticamente nulla, si fa notare come la dissipazione delle pressioni interstiziali indotte dal passaggio dell'onda sismica, avvenga in tempi sicuramente più lunghi rispetto alla breve durata di un sisma.

Tuttavia, essendo presenti tra i terreni superficiali di natura coesiva livelli di consistenza da soffice a plastica, moderatamente compressibili se ritenuto opportuno produrre una valutazione dei cedimenti post sismici nei terreni compresi fra -2.00 m di quota e -8.00 m; lo spessore dello strato indagato è quindi di 600 cm.

A tale scopo è stata utilizzata la seguente formula (DAL 112/2007):

$$\Delta H = \epsilon_{VR} * H$$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 20
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

dove: H = altezza dello strato;

ε_{VR} (%) = deformazione volumetrica post-ciclica, calcolabile nel seguente modo:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

dove:

α = costante sperimentale in prima approssimazione uguale a 1,0;

C_r = indice di riconsolidazione post-ciclica = 0,225 C_c ,

C_c = indice di compressione ottenuto mediante la relazione $C_c = 0,0348 + 0,0162 I_p$;

e_0 = indice dei vuoti iniziale, ottenuto dalla relazione $C_c = 0,40 (e - 0,25)$;

$\Delta u / \sigma'_0$ = rapporto di pressione interstiziale.

Nei calcoli sono stati assunti valori prudenziali ricavati dalla letteratura geotecnica.

In particolare è stato posto:

$C_c = 0,2778 \div 0,2940$ ipotizzando un IP = 15 ÷ 16%;

$C_r = 0,00625 \div 0,06615$;

$e_0 = 0,944 \div 0,985$;

$\Delta u / \sigma'_0$ = valutato con riferimento al grafico di figura 3 dell'Atto di indirizzo regionale, pari a 0,20.

TABELLA CEDIMENTI PERMANENTI POST-SISMICI – TERRENI COESIVI

Spessore strato [cm]	C_r	e_0	$\Delta u / \sigma'_0$	ε_{VR} (%)	ΔH [cm]
600	0,064	0,96	0,20	0,0032	1,92

6. CONCLUSIONI

Si riepiloga quanto esposto nella presente relazione riguardante le indagini geofisiche per la definizione del modello sismico del sottosuolo finalizzato alla pericolosità sismica locale, a supporto del progetto per il piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", il cui intervento si svilupperà in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO).

- Le indagini effettuate consistono in n. 06 prove penetrometriche statiche del tipo CPT spinte alla profondità massima di 20,00 metri dal p.c. e in una prova geofisica con rilievo dei microtremiti secondo il metodo di Nakamura (HVSr), associata ad un'indagine di tipo MASW;

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 21
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------

- dal punto di vista della risposta sismica, il rilievo dei microtremori con il metodo di Nakamura ha posto in luce, nell'intero sito, la presenza di un intervallo di frequenza pari a $0.90 \div 1.10$ Hz circa (periodo $0.90 \div 1.11$ secondi), nel quale è possibile l'insorgere di fenomeni di doppia risonanza struttura-terreno;
- dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s;
- gli effetti topografici possono essere trascurati in quanto la superficie topografica, poiché il sito è ubicato in una ampia area pianeggiante, può essere classificata come appartenente alla **categoria T1 - superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$** "; per tale categoria si assume quale valore del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$;
- per la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica ci si è avvalsi delle tabelle e delle formule contenute nell'Allegato 2 della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 112 – Oggetto n. 3121 del 2 Maggio 2007, le quali permettono di calcolare i fattori di amplificazione rispetto ad un suolo di riferimento.
 - $PGA/PGA_0 = 1,50$
 - $SI/SI_0 = 1,80$ $0,1s < T_0 < 0,5 s$
 - $SI/SI_0 = 2,30$ $0,5s < T_0 < 1,0 s$
- l'amplificazione stratigrafica, ovvero l'accelerazione alla sommità del deposito (o accelerazione massima orizzontale al suolo), tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento (0,127g) per il Comune di Concordia sulla Secchia (MO), del coefficiente di amplificazione sismico e pari a 1,70, così come definito dal Piano della Ricostruzione del Comune di Concordia sulla Secchia, e del coefficiente topografico (1,0), risulta:

$$a_{MAX(g)}=0,216g$$

Pertanto, il valore del **fattore di amplificazione F.A. PGA/PGA_0 da considerare nelle verifiche è pari a 1,70**;

- la natura litologica dei depositi del sottosuolo unita alle caratteristiche meccaniche/geotecniche, esclude la possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione in presenza di eventi sismici, indicando un **indice del potenziale di liquefazione molto basso**, come definito da Sommez, e pari a 0,10;

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 22
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

- i valori dei cedimenti post-sismici totali stimati sono stati calcolati sui soli terreni potenzialmente coinvolti dai carichi fondali e pari a circa 1,57 cm, rispetto ai quali dovrà essere accertata la compatibilità con la tipologia dei fabbricati in progetto.

GEOLOGO
FRANCESCO GABRIELLI



STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 23
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

APPENDICE DOCUMENTALE

RISULTATI E CERTIFICATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

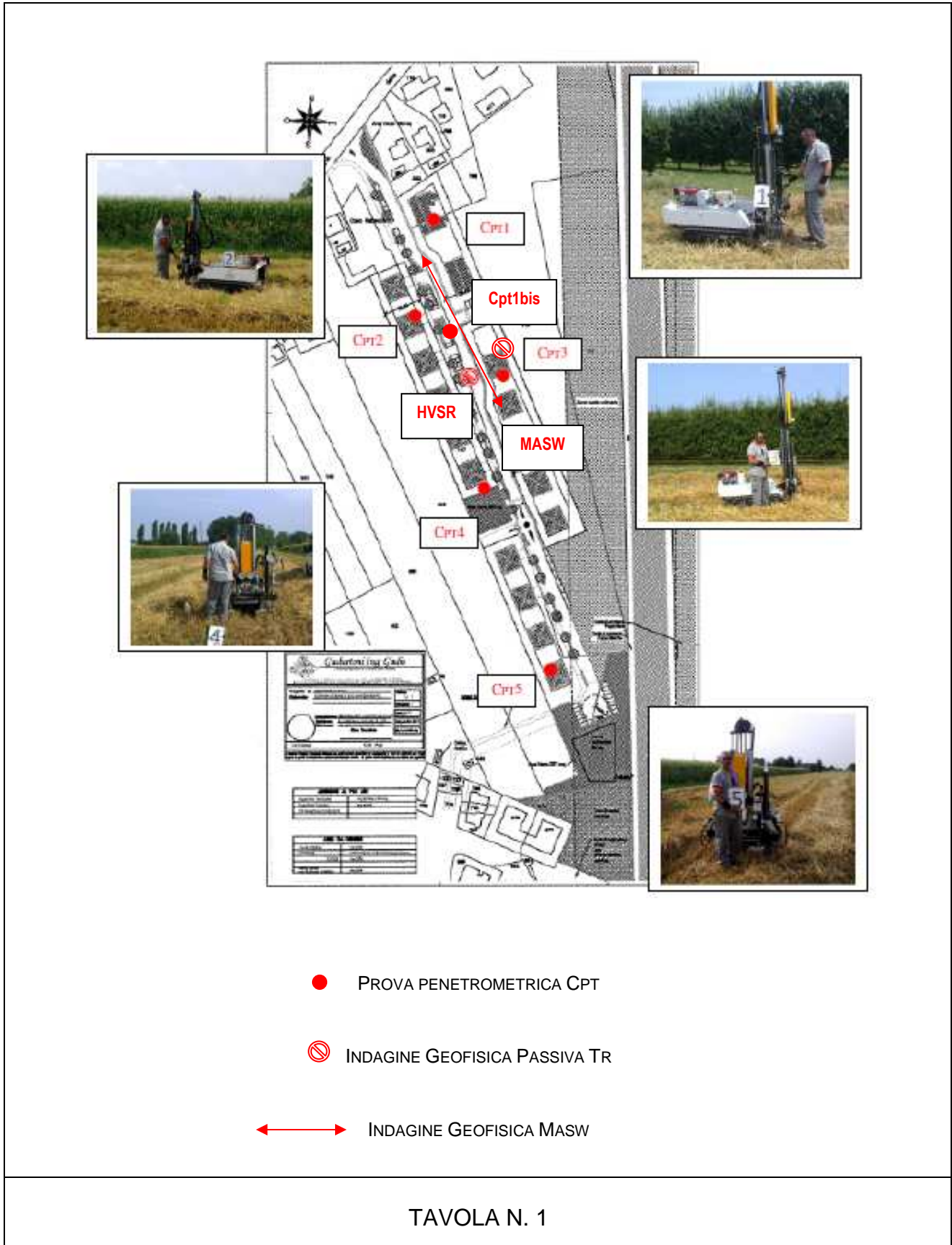
TAV. 1 - Planimetria generale – stato di progetto: ubicazione indagini in sito

Report indagine geofisiche

Report verifica alla liquefazione

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 24
---	---	---------

Titolo: Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
--	-----------------------------



STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 25
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 26
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

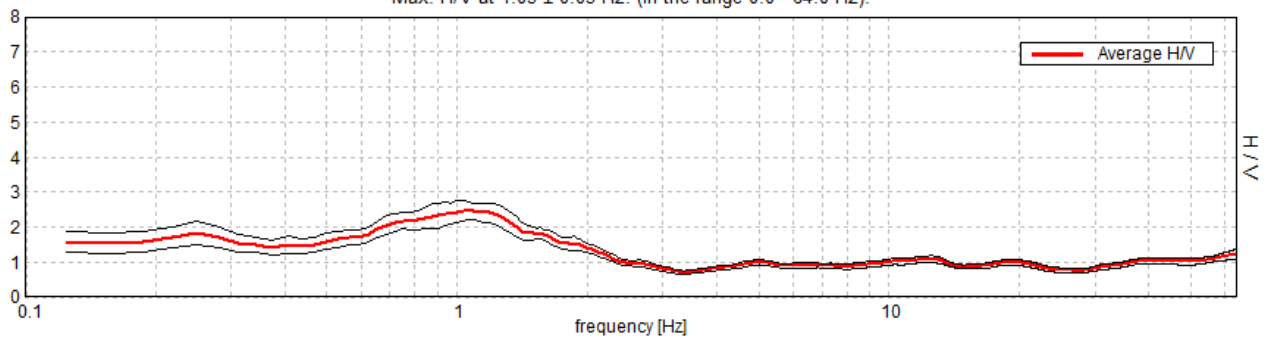
STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 Cell.: 339.4073066 – e-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 27
---	---	---------

CONCORDIA SULLA SECCHIA, PUA H/V1

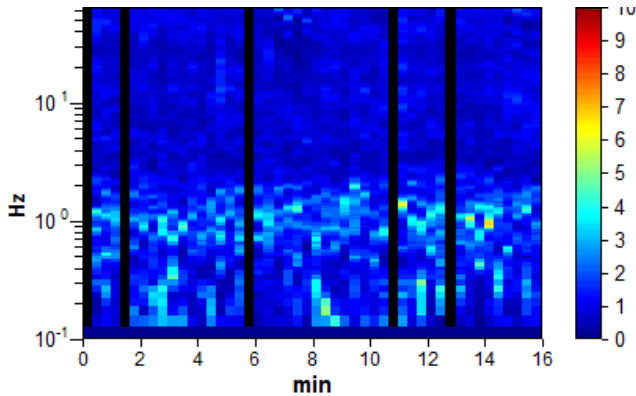
Instrument: TRS-0026/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/05/15 13:34:08 End recording: 04/05/15 13:50:09
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h16'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

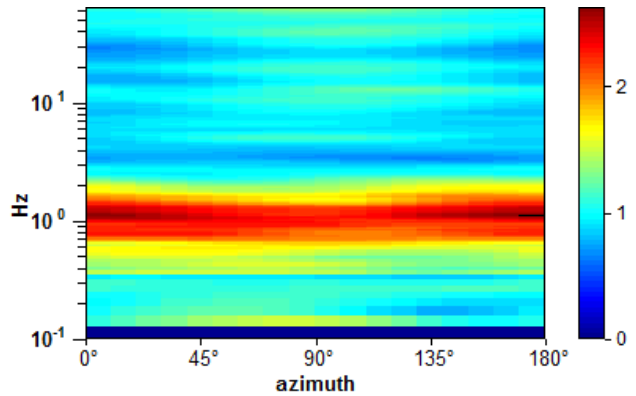
Max. H/V at 1.03 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



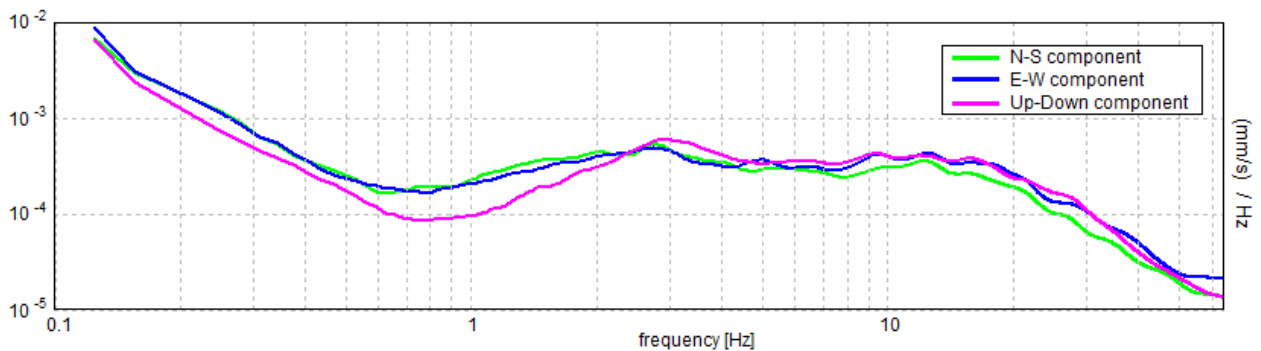
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

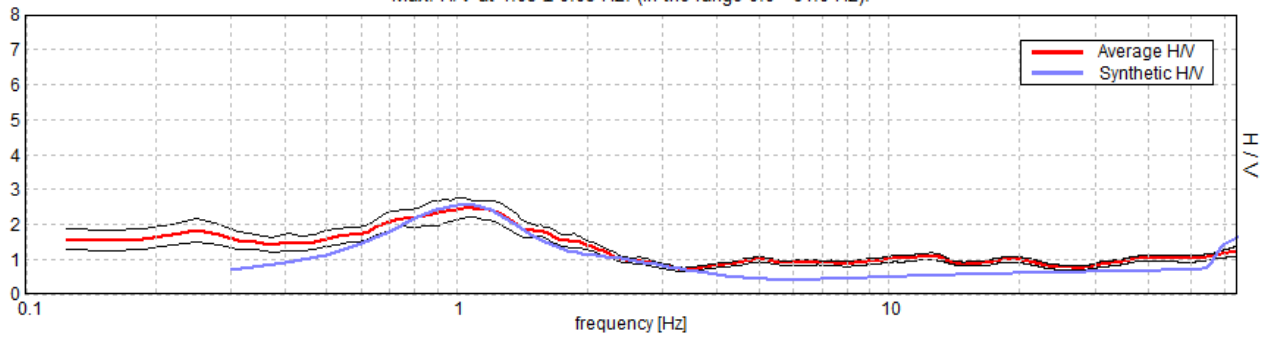


SINGLE COMPONENT SPECTRA



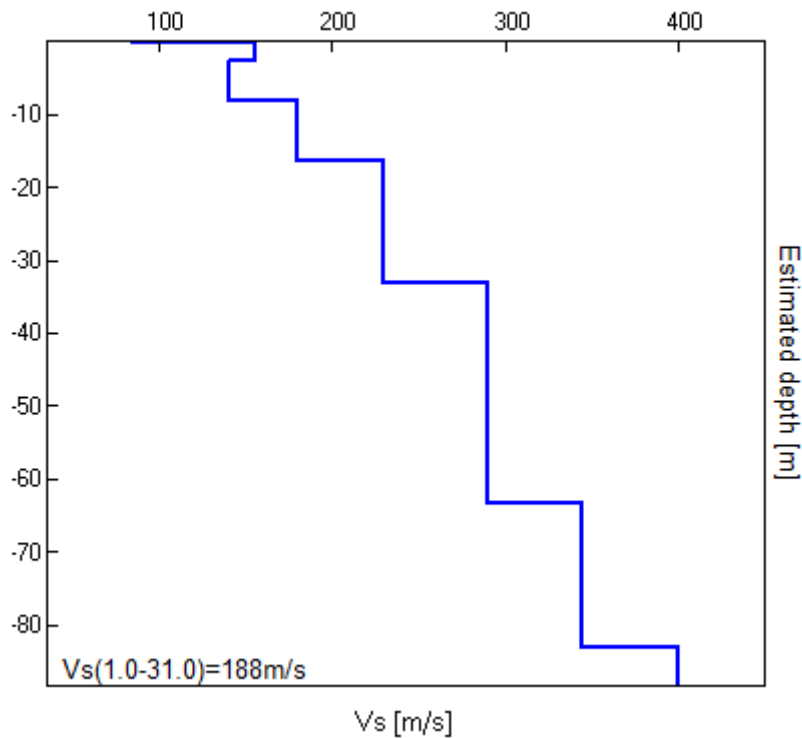
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.03 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.25	0.25	85	0.42
2.55	2.30	155	0.42
8.25	5.70	140	0.50
16.25	8.00	180	0.49
33.25	17.00	230	0.49
63.25	30.00	290	0.48
83.25	20.00	345	0.48
inf.	inf.	400	0.47

Vs(1.0-31.0)=188m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.03 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.03 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	886.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 50 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.47 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04621 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04766 < 0.10313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2962 < 1.78$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

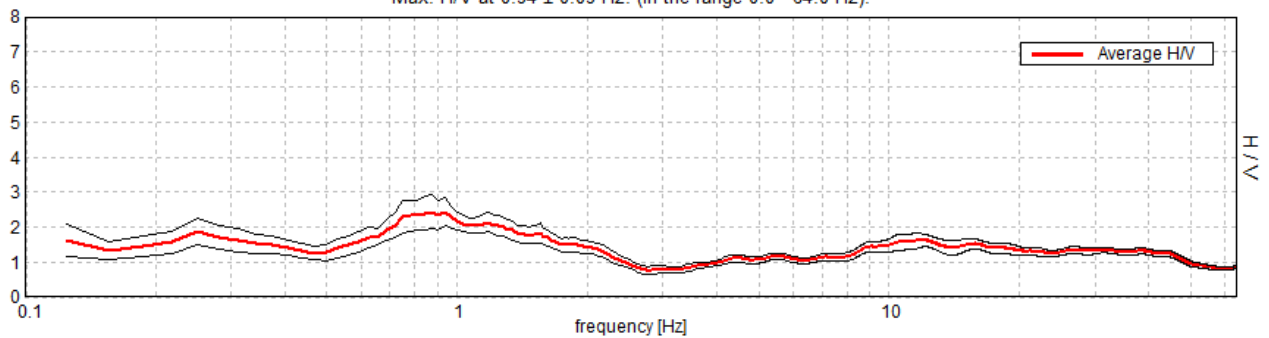
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CONCORDIA SULLA SECCHIA, PUA H/V2

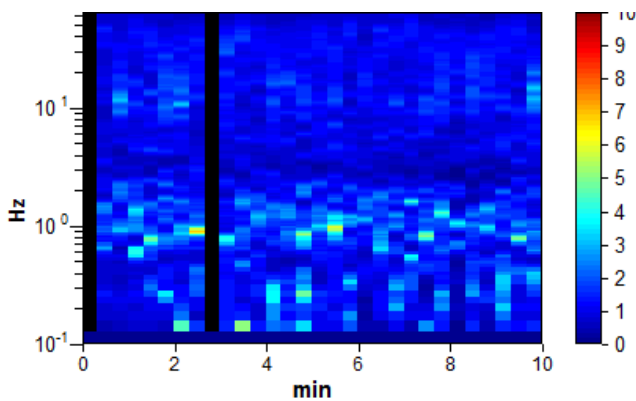
Instrument: TRS-0026/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 04/05/15 13:54:01 End recording: 04/05/15 14:04:02
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h10'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

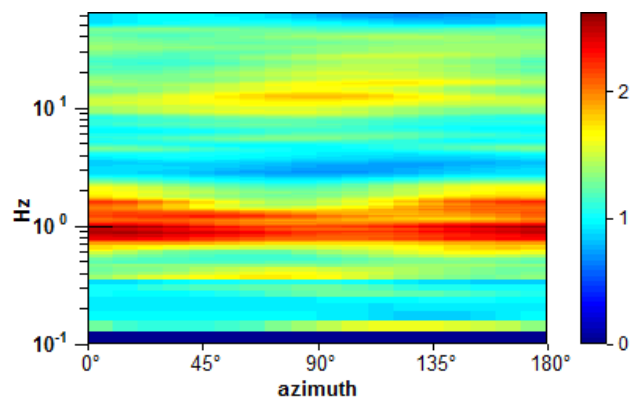
Max. H/V at 0.94 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



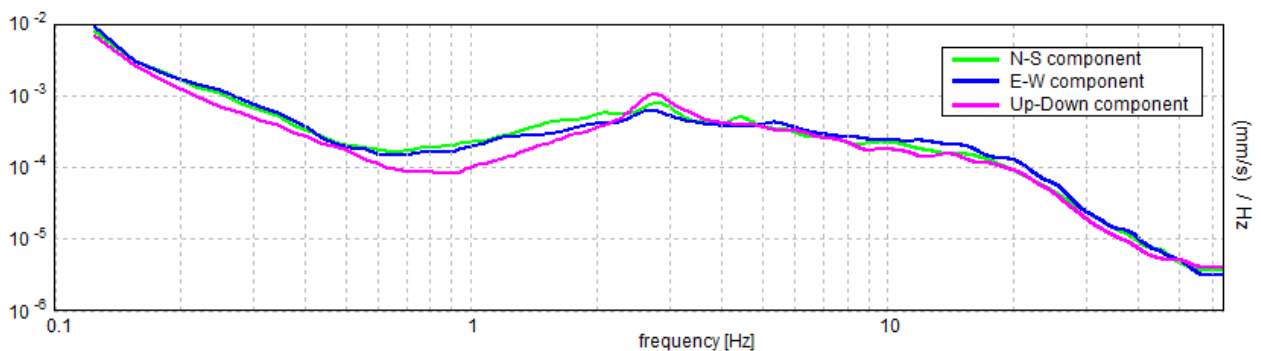
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.94 ± 0.09 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$525.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 46 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.44 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09428 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08839 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4104 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CONCORDIA SULLA SECCHIA, [Z] PUA MASW

Start recording: 04/05/15 15:23:02 End recording: 04/05/15 15:38:08

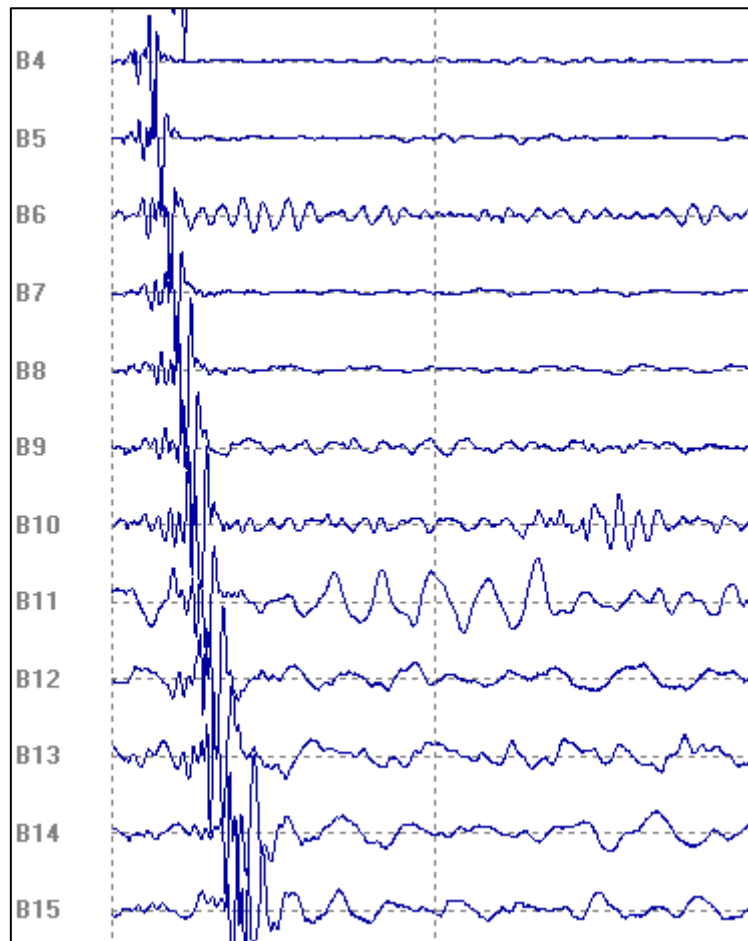
Trace length: 0h00'02". Analyzed 93% trace (manual window selection)

Sampling rate: 512 Hz

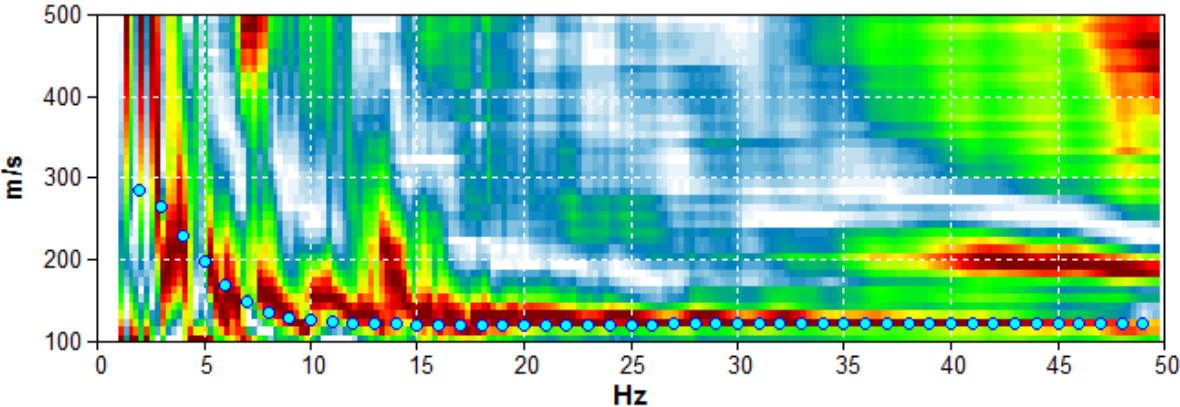
Channel labels: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9
; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; B15

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 36.0 39.0 42.0 m.

RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI INDAGINE ATTIVA Componente verticale Z

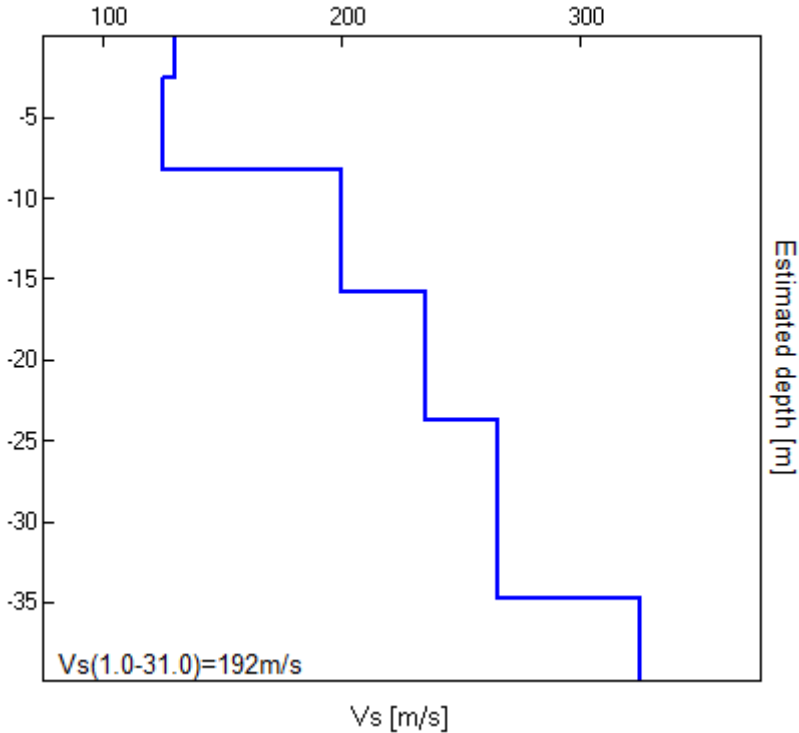


MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.60	2.60	130	0.40
8.20	5.60	125	0.50
15.80	7.60	200	0.49
23.80	8.00	235	0.49
34.80	11.00	265	0.49
inf.	inf.	325	0.48

Vs(1.0-31.0)=192m/s



STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dott. Francesco

Via G. Matteotti, 63 – 46025 Poggio Rusco (MN)

Tel.: 0386.733246 – Fax: 0386.733246 – E-mail: f-gabrielli.geologo@libero.it

C.F. GBR FNC 69M26 G186J – P.IVA 02323450201

PROVINCIA DI MODENA COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA

PROGETTO DI PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI TIPO RESIDENZIALE DENOMINATO “LE VILLE”, IN VIA MARTIRI DELLA LIBERTA’ NEL COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO), IN ADESIONE AL PIANO OPERATIVO COMUNALE

COMMITTENZA:

IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l.

P.zza Roma, 1 – 41033 Concordia sulla Secchia

RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO

ai sensi D.M. 14 Gennaio 2008 – D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328

IL GEOLOGO

FRANCESCO GABRIELLI



<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

INDICE

1 - PREMESSA.....	Pag. 2
2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	Pag. 2
3 - DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI INDAGINI.....	Pag. 3
4 - CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E MODELLO GEOTECNICO.....	Pag. 3
5 - CARATTERIZZAZIONE DELLA STABILITÀ DEL SITO.....	Pag. 10
6 - VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI.....	Pag. 11
7 - DESCRIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	Pag. 13
8 - FONDAZIONI SUPERFICIALI – VERIFICHE GEOTECNICHE.....	Pag. 16
8.1 Premessa.....	Pag. 16
8.2 Verifica alla capacità portante SLU – Condizioni statiche.....	Pag. 16
8.3 Verifica alla capacità portante SLV – Condizioni dinamiche.....	Pag. 18
8.4 Verifiche agli stati limite di esercizio SLE.....	Pag. 19
9 - INDICAZIONI ESECUTIVE.....	Pag. 20
10 - CONCLUSIONI.....	Pag. 21

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 1
---	--	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

1. PREMESSA

La presente relazione espone le risultanze delle verifiche geotecniche connesse al progetto di per realizzazione di un piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", da svilupparsi in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO).

Il presente elaborato geotecnico viene finalizzato alla definizione del modello geotecnico del sito e alla verifica della capacità portante del sottosuolo di fondazione e delle deformazioni dello stesso indotte dai carichi applicati, sia in condizioni statiche che dinamiche.

Esso è redatto in conformità alla nuova normativa di cui sopra e produce un'analisi di pericolosità sismica locale fornendo i fattori di amplificazione dell'intensità sismica, lo spettro di risposta sismica locale e la caratterizzazione geotecnica del volume di sottosuolo di interesse, sviluppata secondo il D.M. 14.01.2008 e relativa Circolare esplicativa.

Le verifiche della sicurezza e delle prestazioni vengono eseguite utilizzando il metodo degli stati limite per le opere di fondazione; vengono inoltre calcolate le azioni sismiche secondo quanto previsto dall'ordinanza ministeriale del 2003 e dalla successiva introduzione del D.M. Infrastrutture del 14 Gennaio 2008.

Per quanto riguarda la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo indagato si rimanda alla relazione geologica.

Per la definizione del modello geotecnico relativo ai terreni che costituiscono il volume significativo si è fatto riferimento esclusivamente alla campagna geognostica eseguita in due periodi distinti, tra il mese di Giugno 2011 ed il mese di Aprile 2015, consistita complessivamente nell'esecuzione di n. 06 prove penetrometriche statiche eseguite con punta meccanica (CPT), spinte alla profondità massima di 20 metri dal piano campagna.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente documento di progetto è redatto in accordo al quadro normativo vigente, così come risulta a seguito della emanazione del seguente dispositivo prescrittivo:

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" – (G.U. 4 Febbraio 2008)

CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N. 617

"Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 2
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

D.P.R. 5 GIUGNO 2001, N. 328 - Articolo 41 – Attività professionali

“punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica...;”

“punto e) le indagini e la relazione geotecnica...”.

3. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DELLE INDAGINI

Al fine di definire lo schema litostratigrafico, geotecnico e sismico del primo sottosuolo e in ottemperanza al D.M. 14 Gennaio 2008, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche così articolata:

- n. 06 prove penetrometriche di tipo statico con punta meccanica (CPT), spinte sino alla profondità massima di 20,0 metri dal piano campagna esistente, quota che per i tipi di terreno indagato e per il tipo di intervento in progetto è stata ritenuta soddisfacente ai fini del concetto di “volume significativo”; all'interno dei perfori è stata eseguito il rilievo della falda freatica, mediante l'utilizzo di freatimetro;
- per la definizione della pericolosità sismica di base del sito, ai sensi del § 3.2 N.T.C. e § C3.2 della Circolare, è stata eseguita un'indagine geofisica basata sulla misura del rumore sismico (microtremore) del sottosuolo, mediante l'utilizzo di strumentazione tomografica portatile, finalizzata alla stima delle frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo e alla definizione della V_{S30} e dell'amplificazione sismica del sito mediante il rapporto HVSR.

Per la definizione della V_{S30} è stata eseguita un'indagine geofisica MASW, basata sull'analisi della propagazione delle onde superficiali, ed in particolare delle onde di Rayleigh.

Il suddetto programma di indagini risulta essere adeguato e sufficiente per l'esecuzione degli interventi di progetto, in relazione anche alla rilevanza dell'intervento e alle condizioni geologiche e geotecniche osservate.

4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA E MODELLO GEOTECNICO

L'area interessata dall'intervento edilizio in progetto insiste su una porzione della pianura emiliana originata dall'attività deposizionale del fiume Po e dei suoi affluenti di pertinenza appenninica, in particolar modo il Secchia, mediante processi di accrezione sia orizzontale, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticale, causa di continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Ne risulta che un profilo verticale di questo settore di pianura, risulta generalmente costituito da un intrecciarsi di lenti limoso-sabbiose fini,

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 3
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

corrispondenti a corpi d'alveo sepolti (argini naturali) e da sedimenti a tessitura fine, determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

Nello specifico, le indagini eseguite hanno evidenziato, al di là della normale variabilità da attendersi in un contesto sedimentario di pianura, la generale presenza delle sabbie del Po ad una profondità generalmente superiore a 15/16 metri, con la sola esclusione della prova CPT1, in corrispondenza della quale il tetto del corpo sabbioso è stato intercettato già alla profondità di 8,20/10,20 metri, preceduto da sabbie argillose.

I depositi sabbiosi del Po sono sovrastati da una successione di sedimenti limoso-argillosi entro la quale si intercalano localmente anche strati con caratteristiche di resistenza tipici delle sabbie "sporche", ovvero con componente significativa di limo-argilloso.

Pertanto, si riscontra la presenza di depositi prevalentemente a granulometria fine, a comportamento geotecnico di tipo coesivo, costituiti da alternanze di livelli argilloso-limosi ed argillosi, di natura inorganica con consistenza variabile, da soffice a plastica, sovrapposti al potente litosoma dapprima limoso sabbioso e sabbioso e sabbioso-limoso in profondità, tipico dell'area investigata, a comportamento geotecnico di tipo granulare/incoerente, da mediamente addensati a molto addensati.

Si segnala nella porzione più superficiale la presenza di depositi argilloso-limosi sovraconsolidati per essiccazione, talora piuttosto compatti; tale livello geomeccanico, in stretta correlazione con l'escursione della falda freatica e/o della sua risalita per capillarità può risultare suscettibile di variazioni in volume conseguentemente a cambiamenti del tenore di umidità e alla soggiacenza della falda freatica stessa; pertanto, se interessato da sollecitazioni anche di non rilevante entità, potrebbe essere soggetto a rotture differenziate.

Nel dettaglio è possibile ricostruire la seguente successione stratigrafica del sottosuolo, escludendo i primi 40/60 cm circa costituiti da materiale di riporto:

Unità A – da 0,60 metri a 2,40/4,80 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico misto granulare/coesivo

Classificazione di Searle – Limo argilloso-sabbioso e sabbia argilloso-limosa sciolti;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,60 e 2,90: tale deposito è classificabile come argilla (da argilla limosa ad argilla).

Il contenuto in fine espresso in percentuale FC% calcolato mediante la metodologia di Robertson (1987) è compreso mediamente tra 20 e 45%;

Unità B – da 2,40/4,80 metri a 8,20/10,20 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico di tipo coesivo

Classificazione di Searle - Fitte alternanze di livelli costituiti da argilla limosa e limi argillosi di consistenza plastica;

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 4
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,95 e 3,30: tale deposito è classificabile come argilla (da argilla limosa ad argilla) e miscela di limo (da limo argilloso ad argilla limosa);

Unità C – da 8,20/10,20 metri a 14,80/16,20 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico di tipo misto coesivo/granulare-incoerente

Classificazione di Searle - Fitte alternanze di livelli costituiti da limo argilloso-sabbioso e sabbia argilloso-limosa, mediamente addensata;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 2,05 e 2,40: tale deposito è classificabile come miscela di sabbia (da limi sabbiosi a sabbie limose).

Il contenuto in fine espresso in percentuale FC% calcolato mediante la metodologia di Robertson (1987) è compreso mediamente tra 18 e 35%;

Unità D – da 14,80/16,20 metri a 20,00 metri da p.c.

Depositi a comportamento geotecnico granulare/incoerente

Classificazione di Searle – Sabbia e sabbia limosa da mediamente addensata ad addensata;

Classificazione di Robertson (1990) - I_c (indice di comportamento) è compreso tra 1,70 e 2,00: tale deposito è classificabile come sabbia (da sabbia pulita a sabbia limosa) e miscela di sabbia (da sabbia limosa a limo sabbioso). Il contenuto in fine FC espresso in percentuale %, è compreso tra 10 e 25%.

Il modello geologico ha evidenziato altresì:

- la falda freatica è stata riscontrata ad una profondità variabile, compresa tra 1,30 e 1,70 metri dal piano esecuzione prove;
- il sito nel complesso è da ritenersi stabile nei confronti dei fenomeni di dinamica geomorfologica.

In base alle precedenti osservazioni, in considerazione anche della tipologia del fabbricato in progetto, non si ravvisano significativi problemi geotecnici relativi alle caratteristiche delle fondazioni e alla loro interazione con il terreno.

Dalla Relazione Geologica si segnala la prescrizione che “Le fondazioni delle opere di progetto, se superficiali, dovranno poggiare ad almeno 1,00 metri dall’attuale piano campagna. Al di sotto del piano delle fondazioni si dovrà posizionare uno strato di conglomerato magro, alquanto addensato e compattato, potente circa 0,20 metri. Sullo strato di conglomerato magro andranno poi basate le strutture di fondazione”.

La parametrizzazione geotecnica delle unità litologiche del sottosuolo è stata realizzata attraverso le correlazioni proposte in letteratura con riferimento alle unità stratigrafiche precedentemente descritte.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 5
---	---	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Di seguito, si riportano i **valori caratteristici** dei parametri geotecnici, ai sensi del D.M. 14 Gennaio 2008, evidenziando che, per la stima degli stessi, sono state utilizzate le seguenti metodologie:

Parametro c_u (coesione non drenata)

Parametro E (modulo di Young)

Parametro M_0 (modulo edometrico)

è stata utilizzata la metodologia di Cox, con intervallo di confidenza della media della distribuzione log-normale:

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

dove:

- \bar{Y} è il valore medio del dataset con distribuzione log-normale;
- z è la distribuzione normale standardizzata;
- t è il valore della distribuzione di Student ad n-1 gradi di libertà;
- S è la deviazione standard del campione;
- n il numero di dati.

Parametro ϕ (angolo di attrito)

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

- x_k è il valore caratteristico desiderato;
- \bar{x} con barra il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;
- t è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$ (ossia, $1-\alpha = 0.95$ o alternativamente, $\alpha = 0.05$);
- s è la deviazione standard del campione;
- n il numero di dati.

Parametro γ (densità naturale)

Il valore caratteristico è stato definito tramite la statistica della varianza nota per un solo dato:

$$x_k = \bar{x} \pm z_{0.05} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \approx \bar{x} \pm 1.645 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

- dove: x_k è il valore caratteristico desiderato;
- \bar{x} con barra il valore medio della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;
- z è la distribuzione normale standardizzata;
- σ è la deviazione standard della popolazione;
- n è la numerosità del campione.

Il modello geotecnico individuato è sintetizzato nelle seguenti tabelle.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 6
---	---	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Unità A – da 0,40 m a 2,40/2,80 m da p.c.

Limo argilloso-sabbioso e sabbia argilloso-limosa sciolta

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	R _p	kg/cm ²	15,6	13,9
Peso di volume naturale	γ	t/m ³	1,89	1,87
Coesione non drenata	c _u	kg/cm ²	0,67	0,63
Angolo di attrito interno	φ	°	25,2	24,7
Modulo di deformazione drenato	E _{25'}	kg/cm ²	198	182
Modulo edometrico	M _o	kg/cm ²	43	37
Modulo di Poisson	μ ^{**}	-	0,35	/
Modulo elastico di Young	E _y	kg/cm ²	155	136

**valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

Unità B – da 2,40/2,80 m a 8,20/10,20 m da p.c.

Limo argilloso ed argilla limosa di consistenza plastica

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	R _p	kg/cm ²	10,9	10,2
Peso di volume naturale	γ	t/m ³	1,88	1,86
Coesione non drenata	c _u	kg/cm ²	0,55	0,52
Modulo di deformazione non drenato	E _{u25}	kg/cm ²	265	248
Modulo edometrico	M _o	kg/cm ²	62	58
Modulo di Poisson	μ ^{**}	-	0,45	/
Modulo elastico di Young	E _y	kg/cm ²	145	130

**valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

Unità C – da 8,20/10,20 m a 14,80/16,20 m da p.c.

Sabbia argilloso-limosa e limo sabbioso mediamente addensati

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	R _p	kg/cm ²	51,2	44,1
Peso di volume naturale	γ	t/m ³	1,93	1,91
Angolo di attrito	Φ	°	30,4	29,4
Modulo di deformazione drenato	E _{25'}	kg/cm ²	102	96

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 7
---	---	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Modulo edometrico	M_o	kg/cm ²	129	115
Modulo di Poisson	μ^{**}	-	0,35	/
Modulo di Young	E_γ	kg/cm ²	108	92

**valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

Unità D – da 14,80/16,20 m a 20,00 m da p.c.

Sabbie e sabbie limose molto addensate

Parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore medio	Valore caratteristico
Resistenza alla punta	R_p	kg/cm ²	161,3	149,4
Peso di volume naturale	γ	t/m ³	1,96	1,94
Angolo di attrito	ϕ	°	33,9	32,6
Modulo di deformazione drenato	E'_{25}	kg/cm ²	434	387
Modulo edometrico	M_o	kg/cm ²	476	415
Modulo di Poisson	μ^{**}	-	0,30	/
Modulo di Young	E_γ	kg/cm ²	320	298

**valore medio di letteratura (Jamolkowski et al., 1994; Lo Presti, 1995; Mayne e Poulos, 1999)

I valori caratteristici sono rappresentativi di una situazione di compensazione delle zone deboli e forti del terreno, poiché è prevista una struttura di fondazione rigida (punto 6.2.2. Circolare: "Valori caratteristici dei parametri geomeccanici"). Tali valori non possono essere estesi a priori a fondazioni non rigide, a meno che lo spessore di influenza della fondazione non sia grande in relazione alla scala di fluttuazione dei parametri geomeccanici, come evidenziato nello stesso punto C6.2.2 della Circolare.

Il citato punto C6.2.2 recita: "Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 8
---	---	--------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri delle Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato".

Determinazione dei moduli di reazione del terreno

Coefficiente di sottofondo verticale k_{wv} o di Winkler in condizioni statiche

Per la definizione del modulo di Winkler verticale in condizioni statiche è stato determinato sulla base della relazione di Bowles (1991) che correla il modulo di elasticità del terreno E_s con la geometria della fondazione:

$$k_{wv} \text{ (kg/cm}^2\text{)} = E_s/B \cdot (1-\mu^2)$$

con: E_s = modulo elastico del terreno (kg/cm²);

μ = coefficiente di Poisson del terreno;

B = larghezza della fondazione.

Per la determinazione del coefficiente di Winkler, sono state utilizzate anche alcune delle relazioni qui di seguito riportate, e nello specifico quella di Meyerhof and Baike, Kleppe and Glock, Selvadurai.

I valori ottenuti per le diverse larghezze degli elementi di fondazione considerate sono riportati nel seguito.

No.	Investigator	Suggested expression
1	Biot	$k_s = \frac{0.95 E_s}{B(1-\nu_s^2)} \left[\frac{B^4 E_s}{(1-\nu_s^2) EI} \right]^{0.108}$
2	Terzaghi	For sands $k_s = k_{s1} \left(\frac{B+1}{2B} \right)^2$ For clays $k_s = k_{s1} \frac{1}{B}$
3	Vlassov	$k_s = \frac{E_s(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \left(\frac{\mu}{2B} \right)$
4	Vesic	$k_s = \frac{0.65 E_s}{B(1-\nu_s^2)} \sqrt{\frac{E_s B^4}{EI}}$
5	Meyerhof and Baike	$k_s = \frac{E_s}{B(1-\nu_s^2)}$
6	Klopple and Glock	$k_s = \frac{2 E_s}{B(1+\nu_s)}$
7	Selvadurai	$k_s = \frac{0.65}{B} \cdot \frac{E_s}{1-\nu_s^2}$
8	---	$k_s = \frac{E_s}{B'(1-\nu_s^2) m I_s I_F}$

	Metodologia	Coefficiente di Winkler	B = 80 cm	B = 120 cm
1	Kleppe and Glock	K =	2,07 kg/cm ³	1,58 kg/cm ³

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 9
---	---	--------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

2	Selvadurai	K =	1,25 kg/cm³	0,91 kg/cm³
3	Meyerhof and Baike	K =	1,87 kg/cm³	1,29 kg/cm³
4	Vesic	K =	1,11 kg/cm³	0,87 kg/cm³
4	Valori di K tabellari per argille mediamente consistenti	K =	1,10 ÷ 1,20 kg/cm³	

Modulo di Winkler orizzontale in condizioni statiche – Relazione suggerita da Bowles (1991)

$$K_{w,h} = 2 K_{w,v}$$

$$K_{w,v} = 2,20 \div 2,40 \text{ kg/cmc}$$

Modulo di Winkler verticale ed orizzontale in condizioni dinamiche – Relazione suggerita da Bowles (1991)

$$K_{w,dinamico} = 0,70 K_{w,statico}$$

K_{w,v} in condizioni dinamiche

$$K_{w,v} = 0,81 \div 0,87 \text{ kg/cmc}$$

K_{w,h} in condizioni dinamiche

$$K_{w,h} = 1,62 \div 1,74 \text{ kg/cmc}$$

5. CARATTERIZZAZIONE DELLA STABILITÀ DEL SITO

In base alle risultanze della relazione geologica allegata al progetto e all'attenta osservazione delle caratteristiche morfologiche e litostratigrafiche, nonché in relazione al fatto che la struttura sorgerà su un contesto morfologicamente pianeggiante, il sito oggetto di intervento è da ritenersi stabile.

Nei confronti della liquefazione, secondo quanto esposto nella Relazione sulla Modellazione Sismica, il sito è da ritenere non a rischio. Per quanto attiene ai potenziali fenomeni di instabilità dei fronti di scavo, questi non sono previsti in progetto. Si osserva comunque nella litologia in esame questi si mantengono verticali anche per altezze fino a 2,00 metri, ma possono tendere a disgregarsi a causa di fenomeni meteorici intensi.

Si pone in evidenza che è comunque sempre necessario il rispetto delle seguenti norme di sicurezza:

- D.Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti dei fronti di attacco devono avere un'inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti.

Quando la parete ha un fronte di attacco supera l'altezza di metri 1,50, è vietato il sistema manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per particolare natura del terreno o per cause piogge, di infiltrazione, di gelo e disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 10
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

- D.Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di 1,50 metri, quando la consistenza del terreno non dia sufficienti garanzie di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.
- D.Lgs 81/2008, art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.
- D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 metri, nei quali sia prevista la permanenza di operai e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista un'armatura di sostegno delle pareti di scavo.

6. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza sono state svolte utilizzando i metodi basati sul concetto di coefficiente di sicurezza parziale introdotto in Europa dagli Eurocodici ma previsto ora anche dalla Norma nazionale (Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008).

In base a tale metodo, ogni singola causa di incertezza, sulle sollecitazioni, sui materiali, sugli schemi di calcolo viene pesata con un apposito coefficiente, detto appunto di sicurezza parziale, che è proporzionato alla influenza ed al grado di incertezza di norma attribuibili al parametro considerato.

La Norma nazionale prevede di definire l'accelerazione sismica al suolo sulla base di una mappatura del territorio italiana dell'INGV.

Dall'attuale MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA del territorio nazionale l'accelerazione massima orizzontale al suolo nel sito in questione è compresa tra $a_g = 0.100g \div 0.150g$; tale valore è stato quindi assunto come valore dell'accelerazione di riferimento per il dimensionamento delle strutture in progetto nelle verifiche in condizioni sismiche.

Le verifiche di sicurezza sono state svolte facendo riferimento:

- agli Stati Limite Ultimi (SLU) e agli Stati Limite di Esercizio (SLE) per quanto riguarda le condizioni statiche;
- agli Stati Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e agli Stati Limite di Danno (SLD) per quanto riguarda le condizioni sismiche.

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU e SLV)

Per ogni stato limite ultimo è stato verificato il rispetto della condizione:

$$Ed \leq Rd$$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 11
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

dove: **Ed** è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) di progetto e **Rd** è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico. Gli effetti delle azioni di progetto possono essere calcolati applicando il coefficiente di sicurezza parziale, o direttamente sulle azioni o sull'effetto finale:

$$Ed = E(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M, a_d)$$

$$Ed = \gamma_E E(F_k, X_k/\gamma_M, a_d)$$

Il Decreto Ministeriale del 2008 fornisce un solo gruppo di valori numerici, valido sia per γ_F che per γ_E .

Le resistenze **Rd**, possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe.

L'entità delle azioni influenza infatti anche i valori delle resistenze geotecniche:

$$Rd = R(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M, a_d)/\gamma_R$$

Il Decreto Ministeriale 14.01.2008 propone per alcune opere geotecniche approcci alternativi (Approccio 1 e Approccio 2), per altre un solo approccio; fornisce inoltre per ciascuna combinazione prevista i coefficienti parziali definiti per le azioni (A1-A2), per i parametri geotecnici (M1-M2) e per le resistenze (R1-R2-R3).

Nel presente progetto, per le **fondazioni superficiali assunte (continua nastriforme)**, si è utilizzato:

- Approccio 2: (A1+M1+R3)

sia per i carichi verticali che per quelli orizzontali, dove i fattori parziali di sicurezza assumono i valori indicati nelle seguenti tabelle.

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTI PARZIALI	A1	A2
Permanenti	Sfavorevoli	γ_{G1}	1,3	1,0
	Favorevoli	γ_{G1}	1,0	1,0
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	γ_{G2}	1,5	1,3
	Favorevoli	γ_{G2}	0	0
Variabili	Sfavorevoli	γ_{Qi}	1,5	1,3
	Favorevoli	γ_{Qi}	0	0

TABELLA 1 – COEFFICIENTI PARZIALI SULLE AZIONI CARATTERISTICHE (O SULL'EFFETTO DELLE AZIONI CARATTERISTICHE) γ_F (O γ_E)

PARAMETRO	GRANDEZZA A CUI SI APPLICA IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTI PARZIALI	M1	M2
Tangente della resistenza al taglio	$\text{tg } \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

Coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_u	γ_{c_u}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

TABELLA 2 – COEFFICIENTI PARZIALI SUI PARAMETRI CARATTERISTICI DEL TERRENO: γ_M

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE R1	COEFFICIENTE PARZIALE R2	COEFFICIENTE PARZIALE R3
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

TABELLA 3 – COEFFICIENTI PARZIALI SULLE RESISTENZE AGLI STATI ULTIMI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI: γ_R

Nell'ambito delle verifiche in condizioni sismiche si ricorda che le azioni vengono combinate non amplificando i carichi permanenti ed utilizzando il coefficiente di combinazione ψ_{2j} per i carichi variabili, come previsto al paragrafo 3.2.4. della Norma del 2008.

Verifiche delle prestazioni (SLE e SLD)

In relazione alla struttura in elevazione è stato verificato che il valore di progetto dell'effetto delle azioni E_d risultasse minore del valore di progetto limite dell'effetto delle azioni C_d , esplicitando pertanto le prestazioni attese per l'opera stessa e confrontandole con le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili.

Per ciascun stato limite di esercizio in condizioni statiche e per lo stato limite di danno in condizioni sismiche deve infatti essere rispettata la condizione: $E_d \leq C_d$ dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione.

Sulla base delle risultanze delle verifiche strutturali si ritiene accettabile il valore di 3 cm (Eurocodice 7) per i cedimenti assoluti e 2,5 cm per i cedimenti differenziali come limite di assestamento in direzione verticale.

7. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Sulla base delle disposizioni previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni si definiscono per l'opera in progetto i seguenti parametri sismici. In particolare:

- Vita di riferimento, $V_R = 50$ anni

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 13
---	---	---------

Titolo: Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Data: Maggio 2015
---	-----------------------------

- Tempo di ritorno SLV, $T_r = 475$ anni
- Tempo di ritorno SLD, $T_r = 50$ anni
- Accelerazione orizzontale massima attesa sul bedrock, $ag/g = 0.127$
- Accelerazione orizzontale massima attesa nel sito, $A_{max} = ag/g * S_s * S_t = 0.216$

Coordinate Geografiche della località in esame (ED50)°	
Longitudine:	10,993091
Latitudine:	44,919501
VITA DELLA STRUTTURA	
Vita Nominale dell'opera:	$V_N = 50$ anni
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso:	$C_u = 1.00$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_u = 50$ anni
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	
Topografia:	T1
Coefficiente topografico:	$S_T = 1.0$
Categoria di suolo:	C
Coefficiente stratigrafico (SLV):	$S_s = 1,70$

Parametri sismici su sito di riferimento

S.L. Stato limite	TR[anni] Tempo ritorno	ag [g]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,036	2,584	0,239
S.L.D.	50,0	0,044	2,555	0,268
S.L.V.	475,0	0,127	2,586	0,274
S.L.C.	975,0	0,171	2,554	0,278

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

S.L. Stato limite	Ss	Cc	St	Amax [g]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,70	1,68	1,00	0,602	0,20	0,012	0,006
S.L.D.	1,70	1,62	1,00	0,735	0,20	0,015	0,007
S.L.V.	1,70	1,61	1,00	2,118	0,24	0,052	0,026
S.L.C.	1,70	1,60	1,00	2,856	0,24	0,070	0,035

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La determinazione è stata eseguita secondo l'approccio semplificato previsto dal § 3.2.2 delle N.T.C., con i seguenti risultati:

Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC: il sottosuolo, a partire dal livello del piano di posa delle fondazioni, può essere assimilato a

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 14
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

categoria C:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

Classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC: la superficie topografica, poiché il sito è ubicato in una ampia area pianeggiante, può essere classificata come appartenente alla

categoria T1:

“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”

Per tale categoria si assume quale valore del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$.

Nei confronti dell'azione sismica si considerano i seguenti Stati Limite (p.3.2.1):

quale Stato Limite di Esercizio:

Stato Limite di Danno (SLD): *a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.*

La Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R = 50$ anni è pari a $P_{VR} = 63\%$, di conseguenza il periodo di ritorno dell'azione da considerare per lo SLD è pari a:

$$T_R = - [V_R / \ln(1-P_{VR})] = 50 \text{ anni}$$

quale stato limite ultimo:

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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.*

La Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R = 50$ anni è pari a $P_{VR} = 10\%$, di conseguenza il periodo di ritorno dell'azione da considerare per lo SLV è pari a:

$$T_R = - [V_R / \ln(1-P_{VR})] = 475 \text{ anni}$$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 15
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

8. FONDAZIONI SUPERFICIALI – VERIFICHE GEOTECNICHE

8.1 Premessa

La scelta della tipologia di fondazione sarà subordinata ai calcoli ingegneristici competenti al progettista e relativi ai carichi della struttura. Si possono comunque avanzare alcune previsioni in merito, riferendosi alla distribuzione e all'entità dei carichi al suolo che si possono ragionevolmente ipotizzare sulla base dell'indagine geognostica. In prima istanza, viste le caratteristiche dei terreni studiati, in assenza dell'analisi dei carichi trasmessi dalla struttura, potranno essere adottate fondazioni superficiali.

Di seguito si procede al calcolo della capacità portante del terreno indicativa secondo il metodo dello Stato Limite Ultimo SLU, fornendo anche alcune valutazioni, in attesa dei parametri definitivi forniti dal Progettista incaricato, in merito alla verifica geotecnica degli stati limite SLU-SLE.

Si segnala che in assenza della definizione delle situazioni di progetto, si è provveduto alla esecuzione di analisi di sensibilità, finalizzate a valutare gli effetti prodotti sul dimensionamento delle opere da possibili variazioni dei dati di ingresso.

Secondo l'Eurocodice 7 e le NTC, i valori caratteristici X_k consistono in una stima cautelativa del valore che influenza dello stato limite. Il § C6.2.2.4 della Circolare illustra chiaramente come tali valori debbano essere scelti. Nel caso in esame, la rigidità della struttura fondale prevista è tale da ottenere compensazione strutturale delle eterogeneità con trasferimento delle sollecitazioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Pertanto i valori caratteristici saranno ubicati in prossimità dei valori medi. Si elencano nella seguente tabella i valori caratteristici e di progetto ottenuti.

FONDAZIONE CONTINUA NASTRIFORME	Peso di volume γ	Angolo di attrito interno φ° (ϕ°)	Coesione drenata c'	Coesione non drenata c_u
Valore caratteristico X_k	1,87 t/mq	20,8	1,10 t/mq	5,10 t/mq

8.2 Verifica della capacità portante SLU – Condizioni statiche

In assenza di informazioni dettagliate in merito alle strutture di fondazione esistenti, si è fatto riferimento ad una tipologia di fondazione a plinto di dimensioni in pianta variabile, impostata alla profondità di 100 cm dal piano campagna. La profondità del cuneo di rottura al di sotto del piano di posa della fondazione, dipende dall'angolo di attrito interno e della larghezza della fondazione, come peraltro rilevabile dalla relazione di Meyerhof (1953):

$$H = 0,5 \cdot B \cdot \text{tg} (45^\circ + \varphi/2)$$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 16
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

dove: H = profondità cui si spinge il cuneo di rottura solidale con la fondazione;
 B = larghezza della fondazione;
 φ° = angolo di attrito interno.

Quindi, facendo riferimento alla relazione di Meyerhof, adottando un valore dell'angolo di attrito pari a 18° , ipotizzando una larghezza B della fondazione pari a 1,20 metri, H assume il valore di 0,98 metri.

Il calcolo della portanza del terreno di fondazione è stato effettuato in funzione del tipo di rottura possibile correlato direttamente dalla compressibilità dello stesso; nel caso particolare, per la presenza di terreni a comportamento prevalentemente coesivo e nella condizione non drenata, si prevede una situazione di *rottura generale del terreno*. La verifica a capacità portante è eseguita utilizzando la formula generale di Brinch-Hansen (1970), che può essere impiegata per qualunque tipo di terreno e per profondità di posa fino a $D = 4 \cdot B$. La relazione proposta da Brinch-Hansen, comprensiva di fattori correttivi di forma, di approfondimento, per carichi inclinati, per fondazione su pendio e per fondazioni con base ruotata, è la seguente:

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

essendo: c_u = coesione non drenata;

$q_0 = \gamma \cdot D_f$ = peso del terreno asportato per lo scavo di fondazione;

B = larghezza della fondazione;

N_c, N_q, N_γ = coefficienti di capacità portante;

γ = peso di volume del terreno;

φ° = angolo di attrito interno.

- s = fattori di forma, pari a:

$$s_\gamma = (1 - 0.4 B/L)$$

$$s_q = 1 + (\text{sen } \phi' B/L)$$

$$s_c = s_q \text{ per } \phi' > 25^\circ$$

$$s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1) \text{ per } \phi' < 25^\circ$$

$$s_c^\circ = 0.2 B/L$$

essendo L il lato maggiore della fondazione.

- d = fattori di profondità, pari a:

$$d_\gamma = 1$$

$$d_q = 1 + 2 \text{tg } \phi' (1 - \text{sen } \phi')^2 D/B$$

$$d_q = 1 + 2 \text{tg } \phi' (1 - \text{sen } \phi')^2 \text{arctg } D/B$$

$$d_c = (d_q s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$$d_c^\circ = 0.4 D/B \text{ per } D/B < 1$$

$$d_c^\circ = 0.4 \text{arctg } D/B \text{ per } D/B > 1$$

- b = fattori di inclinazione della base della fondazione, pari a:

$$b_\gamma = e^{-2.7 \alpha \text{tg } \phi'}$$

$$b_q = e^{-2 \alpha \text{tg } \phi'}$$

$$b_c = b_q$$

$$b_c^\circ = c^\circ / 147^\circ$$

essendo α l'angolo di inclinazione della base della fondazione.

- g = fattori inclinazione del piano di campagna, pari a:

$$g_\gamma = g_q = (1 - 0.5 \text{tg } \beta)^5$$

$$g_c = g_q$$

$$g_c^\circ = \beta^\circ / 147^\circ$$

essendo β l'angolo di inclinazione del piano campagna.

- i = fattori di inclinazione del carico, pari a:

$$i_c = i_q$$

$$i_c^\circ = 0.5 - 0.5 [1 - H / (B L c_u)]^{0.5}$$

$$i_q = (1 - 0.5 H / (N + B L c' \cotg \phi'))^5$$

$$i_\gamma = (1 - 0.7 H / (N + B L c' \cotg \phi'))^5$$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 17
---	---	---------

Titolo:	Data:
Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.	Maggio 2015

La verifica alla capacità portante è stata eseguita sia in condizioni non drenate (a breve termine) che in quelle drenate (a lungo termine).

La falda freatica è posizionata esternamente alla zona di influenza del cuneo di rottura, per cui nelle verifiche sono stati considerati attivi gli effetti riduttivi della stessa sulla capacità portante.

I risultati dei calcoli effettuati vengono riportati nel seguente prospetto, in cui con D_f viene indicata la profondità del piano di posa delle fondazioni.

SLU - Condizioni statiche – APPROCCIO 2

A breve termine – Condizioni non drenate

$D_f = 1.00$ metri

$$B = 0.80 \text{ m} \rightarrow q_{\text{lim}} = 392 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 170 \text{ kPa}$$

$$B = 1.00 \text{ m} \rightarrow q_{\text{lim}} = 404 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 175 \text{ kPa}$$

$$B = 1.20 \text{ m} \rightarrow q_{\text{lim}} = 387 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 168 \text{ kPa}$$

A lungo termine – Condizione drenate

$D_f = 1.00$ metri

$$B = 0.80 \text{ m} \rightarrow q_{\text{lim}} = 414 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 180 \text{ kPa}$$

$$B = 1.00 \text{ m} \rightarrow q_{\text{lim}} = 433 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 188 \text{ kPa}$$

$$B = 1.20 \text{ m} \rightarrow q_{\text{lim}} = 424 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 184 \text{ kPa}$$

8.3 Verifica della capacità portante SLV – Condizioni dinamiche

La verifica alla capacità portante in condizioni dinamiche allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) è stato condotto secondo quanto disposto nel cap. 7.11.5. del D.M. 14 Gennaio 2008.

Per le fondazioni superficiali l'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella strutture in elevazione (effetto inerziale).

La verifica in combinazione sismica costituisce sicuramente una condizione penalizzante rispetto alla combinazione statica.

La verifica è stata svolta con un foglio di calcolo che rispetta i suggerimenti delle NTC e della Circolare, utilizzando la classica formula di Brinch-Hansen, sviluppata secondo i suggerimenti di Bowles e con aggiunta del coefficiente z_i che tiene conto degli effetti inerziali indotti dal sisma (Paolucci & Pecker, 1997).

Pertanto, considerando la presenza di terreni a comportamento coesivo ed i fattori correttivi, la formula si riduce a:

$$q_{\text{lim}} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c \cdot z_c + q_0 \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \cdot z_\gamma$$

dove: $z_q = z_\gamma = (1 - k_h / \text{tg}\phi)^{0.35}$

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 18
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

$$z_c = 1 - 0.32 k_h$$

Per effettuare le verifiche agli stati limite in condizioni dinamiche, si devono determinare i valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale k_h e k_v , definiti secondo le relazioni:

$$- k_h = \beta_s \cdot A_{max}/g$$

$$- k_v = 0.5 \cdot k_h$$

dove: β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

I risultati delle verifiche sono mostrati nel prospetto seguente.

SLV - Condizioni sismiche – APPROCCIO 2

$D_f = 1.00$ metri

$$B = 0.80 \text{ m} \rightarrow q_{lim} = 368 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 160 \text{ kPa}$$

$$B = 1.00 \text{ m} \rightarrow q_{lim} = 379 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 164 \text{ kPa}$$

$$B = 1.20 \text{ m} \rightarrow q_{lim} = 363 \text{ kPa} \rightarrow R_d = 158 \text{ kPa}$$

8.4 Verifiche agli stati limite di esercizio SLE

Il fattore limitante nel caso dello SLE è rappresentato, nella situazione di opera di fondazione, dal cedimento massimo compatibile con la funzionalità dell'opera. La verifica agli stati limite di servizio (SLE) è stata condotta attraverso la determinazione dei cedimenti delle fondazioni soggette a condizioni di carico di progetto pari alle resistenze di progetto. In caso di cedimenti superiori ad una soglia limite assunta pari a 3 cm, il carico di progetto è stato opportunamente ridotto ad un valore di esercizio inferiore.

In relazione alle condizioni sopra impostate è stato valutato il valore di resistenza allo stato limite di esercizio (SLE).

La determinazione dei carichi verificati sulla base dei cedimenti indotti dalla struttura in previsione allo SLE, è stata eseguita sulla base della *teoria dell'elasticità di Boussinesq*, che considera il terreno di fondazione come uno spazio semiinfinito elastico-lineare, omogeneo ed isotropo, ed area di carico flessibile poggiante sul limite superiore del semispazio. La valutazione dei cedimenti attesi, di tipo monodimensionale prodotti da tensioni indotte da carichi applicati in condizioni di espansione laterale impedita, ha previsto la stima dei contributi dovuti a fenomeni immediati e alla consolidazione.

Una volta calcolate le tensioni verticali indotte alle varie profondità dalla presenza del sovraccarico, usando la teoria dell'elasticità in condizioni piane, la valutazione dei cedimenti è stata effettuata con appositi fogli di calcolo.

In merito ai parametri di deformabilità, si è fatto riferimento ai risultati delle prove penetrometriche statiche eseguite, alla luce dei metodi interpretativi indicati nella relazione sulle indagini geognostiche.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 19
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

I calcoli di previsione dei cedimenti sono stati eseguiti per le stesse impronte fondali utilizzate nelle verifiche sulla capacità portante dei terreni di fondazione. Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito mediante l'applicazione del software LOADCAP GEOSTRU:

Fondazione nastriforme	B = 80 cm	B = 100 cm	B = 120 cm
Cedimenti	2,99 cm	2,98 cm	2,94 cm
Pressione verticale agente	95 kN/mq	93 kN/mq	90 kN/mq

Dallo sviluppo dei calcoli, relativamente all'adozione di **fondazioni a plinto**, si sono ottenuti, per le diverse geometrie impostate, valori del **cedimento assoluto** compresi tra **2,94÷2,99 cm**; cedimenti assoluti di tale entità, in terreni soggetti a carichi equivalenti a quelli utilizzati e per aree di impronta delle fondazioni analoghe a quelle considerate sono da ritenersi accettabili per litotipi con proprietà geomeccaniche simili a quelle riscontrate nel sottosuolo dell'area studiata. Pertanto, **al fine di contenere i cedimenti attesi entro il valore di 3 cm preso a riferimento, i massimi carichi verticali agenti sulle fondazioni devono essere inferiori a quelli indicati nella tabella sopra riportata.**

Si ricorda che il carico di progetto allo S.L.E. non dovrà provocare un cedimento superiore a quello limite stimato dal progettista e, come indicato nelle "Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni", sarà necessario realizzare una fondazione di rigidità tale da trasmettere al terreno nel modo più uniforme possibile le azioni localizzate ricevute dalla sovrastruttura ed assorbire le eventuali tensioni dovute a possibili cedimenti differenziali. I calcoli precedentemente esposti hanno comunque valore indicativo ed andranno verificati dal Tecnico Progettista sulla base della distribuzione geometrica delle fondazioni e dei reali carichi trasmessi dalla struttura.

9. INDICAZIONI ESECUTIVE

Di seguito si riportano alcune prescrizioni operative di carattere generale volte soprattutto a tutelare le condizioni di stabilità locale delle scarpate di scavo, per approntamento di eventuali nuove strutture di fondazione.

In considerazione dell'altezza limitata dei fronti di scavo, della natura granulometrica e dello stato anidro dei terreni di fondazione, gli sbancamenti previsti non presentano particolari limitazioni operative; il tutto dovrà essere realizzato tenendo semplicemente conto delle normali tecniche costruttive legate alle buone consuetudini dell'arte edile. Si indicano pertanto le seguenti procedure minime per l'esecuzione delle opere in progetto:

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 20
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	<i>Maggio 2015</i>

- i fronti di scavo dovranno essere realizzati secondo angoli compatibili con le caratteristiche dei depositi, tenendo conto di un sufficiente margine di sicurezza;
- l'apertura degli scavi dovrà essere relativamente breve per evitare fenomeni di detensionamento piuttosto intensi, con peggioramento delle caratteristiche geotecniche;
- le acque superficiali di ruscellamento dovranno essere regimate con opportune canalizzazioni e sistemi di drenaggio, al fine di evitare fenomeni di dilavamento che potrebbero portare al collassamento dello scavo stesso.

Si ritiene opportuno, in fase di esecuzione dei lavori, effettuare un'accorta ispezione visiva del terreno di fondazione per accertare la presenza di disomogeneità litologiche particolarmente evidenti e/o di livelli rammolliti, saturi d'acqua, formati in seguito a precipitazioni particolarmente intense e prolungate.

In presenza di tali singolarità, si deve procedere con un'omogeneizzazione delle proprietà meccaniche e deformative del terreno, tipicamente mediante la rimozione di uno strato di adeguato spessore e la sua sostituzione con un getto di magrone.

In merito all'apertura degli scavi per la realizzazione delle opere di fondazione, le attività di sbancamento entro i due metri di profondità, potranno avvenire in presenza di infiltrazioni di acqua di falda o di livelli saturi temporanei; sarà necessario, pertanto, l'allontanamento della stessa.

In merito alla stabilità dei fronti di scavo si ritiene che gli stessi potranno avere una pendenza massima di 60°.

10. CONCLUSIONI

Riassumendo quanto esposto nella presente relazione riguardante le verifiche di stabilità geotecnica delle fondazioni, relativamente al progetto di realizzazione di un piano urbanistico attuativo di tipo residenziale, denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), a seguito degli eventi sismici del Maggio 2012., in assenza di una specifica analisi dei carichi trasmessi dalle strutture di fondazione al terreno, si è preso in considerazione un sistema fondale costituito da trave nastriforme, impostata alla profondità di 100 cm da p.c. e di larghezza B variabile, compresa tra 0,80 e 1,20 metri.

Dalle verifiche geotecniche condotte mediante l'applicazione dell'Approccio 2, ai sensi della normativa vigente, eseguite sia in condizioni non drenate (a breve termine) che in condizioni drenate (a lungo termine), considerate la tipologia del terreno di fondazione e la velocità dell'applicazione del carico prevista, è emerso che tale dimensionamento permette di garantire una resistenza di progetto **R_d** in condizioni statiche a breve termine (SLU) variabile tra **R_d = 168÷179 kPa** e una **R_d** in condizioni statiche a lungo termine variabile tra **R_d = 180÷188 kPa**.

STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 - Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 - CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 21
---	---	---------

<i>Titolo:</i>	<i>Data:</i>
<i>Relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno, a supporto del progetto per piano urbanistico attuativo di tipo residenziale denominato "Le Ville", in Via Martiri della Libertà nel territorio comunale di Concordia sulla Secchia (MO), in adesione al piano operativo comunale.</i>	Maggio 2015

In condizioni dinamiche (SLV) si sono ottenuti valori di R_d compresi tra **158÷168 kPa**.

Non disponendo dei carichi indotti dal peso della struttura e della relativa fondazione, a titolo orientativo, per la stima dei valori del cedimento assoluto si sono assunte come pressioni di esercizio quelle che determinano, sulle basi della tipologia e dimensionamento delle strutture di fondazione, i valori di cedimento massimo inferiori al valore soglia imposto pari a **3 cm**; per le geometrie adottate, i valori del carico massimo applicabile verificato agli SLE è compreso tra **90 kN/mq** e **95 kN/mq**.

Si segnala che, come prescritto nelle *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*: "...la rigidezza della fondazione deve essere tale da trasmettere al terreno nel modo più uniforme possibile le azioni localizzate ricevute dalla sovrastruttura".

GEOLOGO

FRANCESCO GABRIELLI



STUDIO GEOLOGICO di Gabrielli dr. Francesco Via G. Matteotti, 63 - 46025 Poggio Rusco (MN) Tel.: 0386 733246 – Fax: 0386.733246 C.F. GBR FNC 69M26 G186J - P.IVA 02323450201	IMMOBILIARE QUADRIFOGLIO S.r.l. P.zza Roma, 1 41033 – CONCORDIA SULLA SECCHIA	Pag. 22
---	---	---------