



Città di Segrate

PROVINCIA DI MILANO

OGGETTO

RIQUALIFICAZIONE URBANA MEDIANTE L'ABBATTIMENTO E LA RICOSTRUZIONE DI UN EDIFICIO DA DESTINARE AD ATTIVITÀ RICETTIVA

UBICAZIONE

Via Rivoltana 98, Segrate (MI) - Foglio 35 - p.lle 67-70-71-72

PROGETTO ESECUTIVO



GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione Geologica

PROGETTISTA

Architettonico
arch. Luigi Esposito

Impiantistico
ing. Ivan Verlingieri

Il Geologo
dott. Domenico Monteleone

Strutturale

ing. Giovanni Simeone

Antincendio
ing. Ivan Verlingieri
ing. Luca Boldoni

COMMITTENTE



LEMI S.R.L.

AMMINISTRAZIONE COMUNALE

Il Responsabile del Procedimento
Geom. Claudio Fina

Il Tecnico Istruttore
Geom. Andrea Belloni

Il Dirigente del Settore
Arch. Maurizio Rigamonti

N. PROG. CODICE ELABORATO

REV.

T00-EG00-GEO-RE01-A

A	agosto 2019	Emissione per rilascio P.d.C.	Geom. Monteleone	Geom. Monteleone	Ing. Simeone
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CITTA' DI SEGRATE
PROVINCIA DI MILANO

RELAZIONE GEOLOGICA
Ai sensi D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

OGGETTO:

**RIQUALIFICAIONE URBANA MEDIANTE L'ABBATTIMENTO E LA
RICOSTRUZIONE DI UN EDIFICIO DA DESTINARE AD ATTIVITA' RICETTIVA**

UBICAZIONE:

VIA RIVOLTANA 98, SEGRATE (MI) – Foglio 35 – p.lle 67-70-71-72

COMMITTENTE:

LEMI s.r.l

Il Geologo
Dott. Monteleone Domenico

Indice

Premessa	3
Normativa di riferimento	3
Metodologie	3
Localizzazione dell'area di interesse	4
Inquadramento geologico generale	5
Assetto geomorfologico	7
Assetto idrogeologico	8
Assetto idrografico	12
Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po	14
Classe di fattibilità geologica per l'area di intervento	17
Inquadramento sismico	21
Indagini geognostiche	22
Modello geologico - caratteristiche stratigrafiche	24
Modello geologico - caratteristiche geotecniche	29
Modello geologico - caratteristiche idrogeologiche	43
Modello geologico - caratteristiche sismiche	54
Indagine ambientale	76
Liquefazione	82
Analisi sismica di terzo livello	84
Conclusioni	113

Premessa

Su incarico del committente LEMI s.r.l., il sottoscritto Geol. Monteleone Domenico, iscritto all'Albo dei Geologi della Calabria sez. A al n. 1025, espone nella presente relazione il modello geologico afferente al sito interessato dal seguente Progetto: "Riqualificazione urbana mediante l'abbattimento e la ricostruzione di un edificio da destinare ad attività ricettiva". L'ambito territoriale di interesse è afferente al Comune di Segrate (MI), Via Rivoltana n. 98.

Normativa di riferimento

Tale studio è stato svolto in ottemperanza alla normativa vigente:

- ✓ Norme Tecniche per Le Costruzioni DM 17/01/2018;
- ✓ D.G.R. 11 Luglio 2014, n. X/2129 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia
- ✓ D.G.R. 30 Novembre 2011 n. IX/2616 Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 Marzo 2005 n. 12, approvati con D.G.R. 22 Dicembre 2005 n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 Maggio 2008, n. 8/7374.
- ✓ Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po, ai sensi Legge 18/05/1989 n. 183 art. 17 comma 6-ter, approvato con D.C.P.M. del 24/05/2001
- ✓ Variante normativa al PAI adottata dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po il 7/12/2016, approvata con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 22/02/2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 120 Serie Generale del 25/05/2018.
- ✓ Norme in materia ambientale D. Lgs. N. 152/2006 e s.m.i.
- ✓ Gestione terre e rocce da scavo DPR 120/2017

Metodologie

Le informazioni necessarie alla realizzazione del modello geologico di riferimento relativo alla zona d'intervento sono state acquisite secondo la seguente modalità operativa:

- raccolta ed analisi critica di dati pregressi e di documentazione bibliografica;
- studio ed interpretazione stereoscopica delle foto aeree;
- esecuzione di rilievi a carattere geologico – geomorfologico
- studio della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- caratterizzazione dei principali parametri geotecnici e sismici del terreno di fondazione attraverso l'esecuzione di una adeguata campagna di indagini geognostiche
- elaborazione dei dati raccolti.

Localizzazione dell'area di interesse

L'area di pertinenza è ubicata nel comune di Segrate (MI), in Via Rivoltana n. 98, Foglio di Mappa 35 P.lle 67 – 70 – 71 – 72, ed insiste ad una quota topografica di circa 112 m s.l.m.

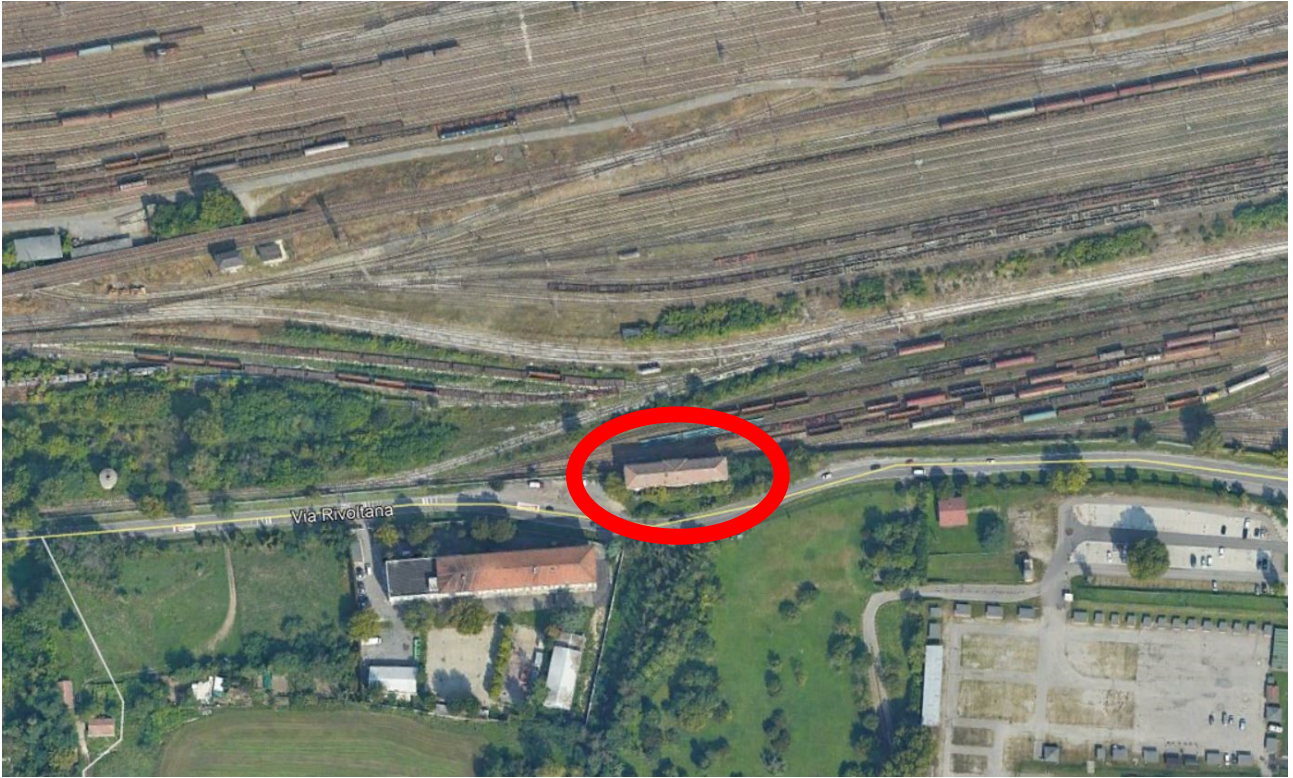


Fig. 1: Localizzazione area di interesse. Dall' immagine si evince che l'area di interesse risulta essere confinata tra la articolata rete ferroviaria a Nord che porta al "Terminale Intermodale Milano Smistamento" e la trafficata Strada "Via Rivoltana" a Sud.

Inquadramento geologico generale

Come riscontrato dai rilievi geologici, dalle indagini geognostiche eseguite in situ, e dallo studio della Tavola Cartografica “Caratteri Geologici e Geomorfologici” facente parte integrante della documentazione tecnica afferente al Piano Governo Territorio, si evince che le litologie affioranti nell’area di interesse ed in quelle ad essa limitrofi sono costituite esclusivamente da litotipi di natura sedimentaria. Tali litologie sono di seguito descritte ed organizzate stratigraficamente dalla più antica alla più recente e superficiale.

(estratto Relazione Illustrativa allegata alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Segrate)

- Unità stratigrafiche quaternarie

✓ *Supersintema di Besnate – Unità di Guanzate (Pleistocene medio – superiore)*

L’unità è rappresentata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie medio grossolane massive, occasionalmente a debole isorientazione, a supporto di matrice sabbiosa grossolana. Clasti da subarrotondati a subangolosi, con dimensioni modali centimetriche, a petrografia poligenica. Il colore della matrice rientra nelle pagine 10YR e 7.5YR delle Munsell Soil Color Charts. L’alterazione interessa circa il 40 % dei clasti, da decarbinatati ad argillificati/arenizzati, per uno spessore medio superiore ai 2 m. Sono presenti coperture loessiche con spessori in diminuzione verso Sud.

✓ *Supersintema di Besnate – Unità di Minoprio (Pleistocene medio – superiore)*

L’unità è rappresentata da depositi fluvioglaciali e da depositi di esondazione. L’alterazione interessa circa il 30/40% dei clasti, da decarbonatati ad argillificati/arenizzati per uno spessore medio inferiore ai 2 m. Priva di evidente copertura loessica colluviata (probabile asportazione per interventi antropici). I depositi fluvioglaciali sono costituiti da ghiaie massive a supporto di matrice sabbiosa medio grossolana o sabbioso limosa. Clasti da subarrotondati a subangolosi, con dimensioni modali centimetriche e massime decimetriche, a petrografia poligenica, con carbonati prevalenti. I depositi di esondazione sono costituiti da sabbie ghiaiose, sabbie e sabbie limose. Il colore della matrice rientra nella pagina 7.5YR delle Munsell Soil Color Charts.

✓ *Sintema di Cantù (Pleistocene superiore) – unità presente in affioramento nell’area di studio*

L’unità è espressione sedimentaria dell’espansione glaciale più recente (Wurm A.A.) ed è rappresentata da depositi fluvioglaciali e da depositi fluvioglaciali a bassa energia. La superficie limite superiore presenta un profilo di alterazione con uno spessore medio inferiore al metro,

caratterizzato da suoli poco sviluppati. La copertura loessica è assente. Il colore della matrice rientra tra le pagine 10YR e 2.5YR, a causa di deboli fenomeni di idromorfia, della Munsell Soil Color Charts. I depositi fluvio-glaciali sono costituiti da ghiaie a supporto di clasti con matrice sabbiosa o sabbioso limosa, con frequenti intercalazioni di sedimenti fini sabbiosi di spessore anche metrico. I clasti sono poligenici, arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

✓ *Sintema del Po – Unità Postglaciale (Pleistocene superiore – Olocene)*

L'unità è rappresentata da depositi fluviali costituiti da ghiaie a supporto clastico e di matrice sabbioso limosa, sabbie ghiaiose, sabbie e limi, alternanze di ghiaie e sedimenti sabbioso/limosi. La superficie limite superiore è caratterizzata da suoli poco evoluti. I colori prevalenti della matrice rientrano nelle pagine 10YR e 2.5.Y delle Munsell Soil Color Charts. I depositi dell'unità sono associati sia a sedimenti deposti dal Fiume Lambro nella sua valle fluviale sia alle vie di drenaggio ricondotte a depressioni legate ai fontanili presenti nell'area e a veri e propri paleoalvei presenti sul livello modale della pianura.

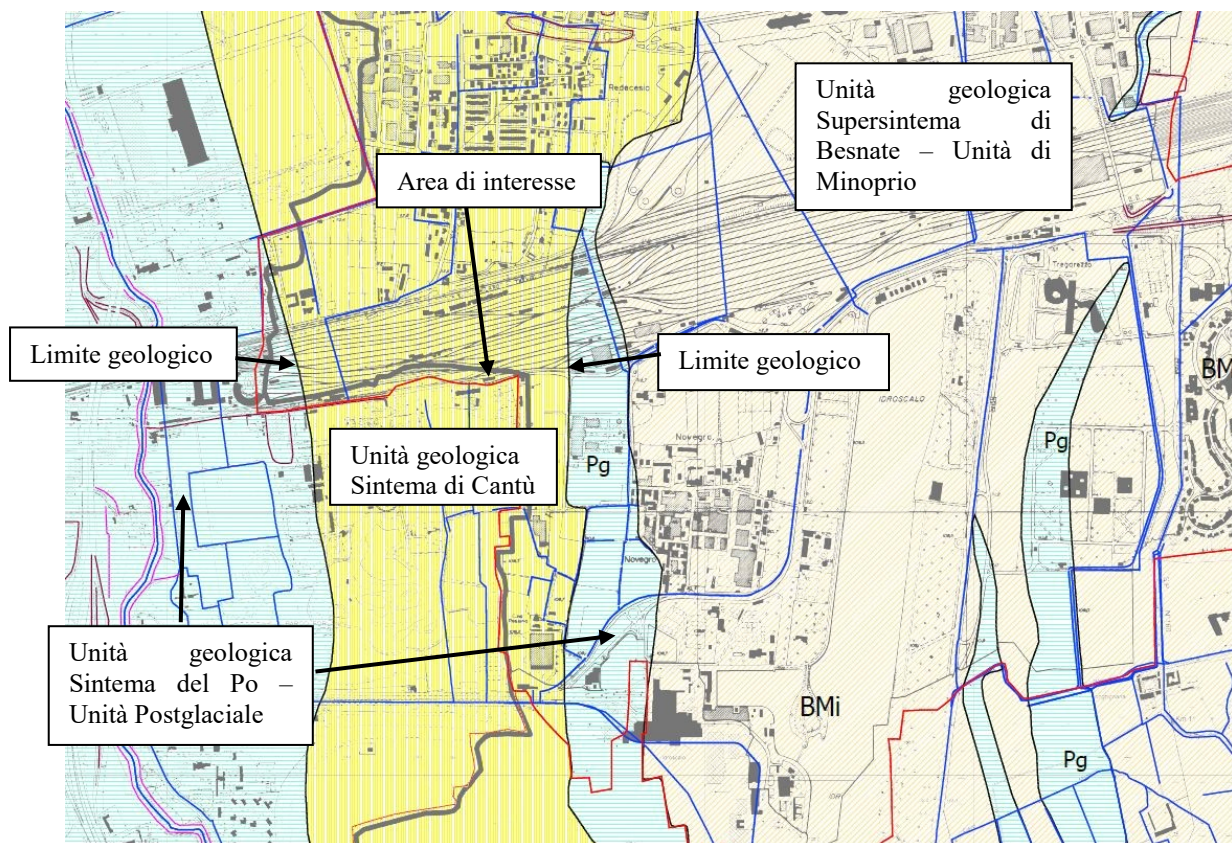


Fig. 2: Stralcio della Tavola Cartografica – “Caratteri Geologici e Geomorfolologici”- PGT Comune di Segrate.

Nella figura è indicata l'Unità Geologica in affioramento (Sintema di Cantù) e si evidenziano i limiti geologici con le altre unità

Assetto geomorfologico

Il territorio del Comune di Segrate (MI) è ubicato nel settore settentrionale della pianura padana lombarda, subito ad Est della Città di Milano; l'area è compresa nel quadrante B6 della Carta Tecnica Regionale. Il contesto di pianura monotona è interrotto dai numerosi canali irrigui dei quali i più importanti derivano dal Naviglio Martesana e presentano direzione generale verso Sud. Il territorio, appartenente alla cintura metropolitana, ha subito un importante sviluppo residenziale ed industriale nell'ultimo trentennio, che ha determinato un contrasto con aree che conservano ancora il carattere agricolo originario, caratteristica questa comune a quanto si osserva in altri centri abitati immediatamente a Est, Sud-Est di Milano. Ad un esame dettagliato dell'assetto geomorfologico, il territorio comunale presenta un andamento relativamente pianeggiante con blando declivio verso Sud e quote comprese tra 124 2 108 m s.l.m., per l'area di interesse la quota topografica è di circa 112 m s.l.m.; alcune modeste ondulazioni sono dovute ai processi deposizionali delle grandi conoidi pedemontane. Il drenaggio delle acque di superficie ha creato incisioni ed avvallamenti, che tuttavia risultano poco evidenti o addirittura completamente obliterati dalle trasformazioni antropiche, che rappresentano invece gli elementi morfologici di maggior spicco dell'area (Fonte: PGT del Comune di Segrate)

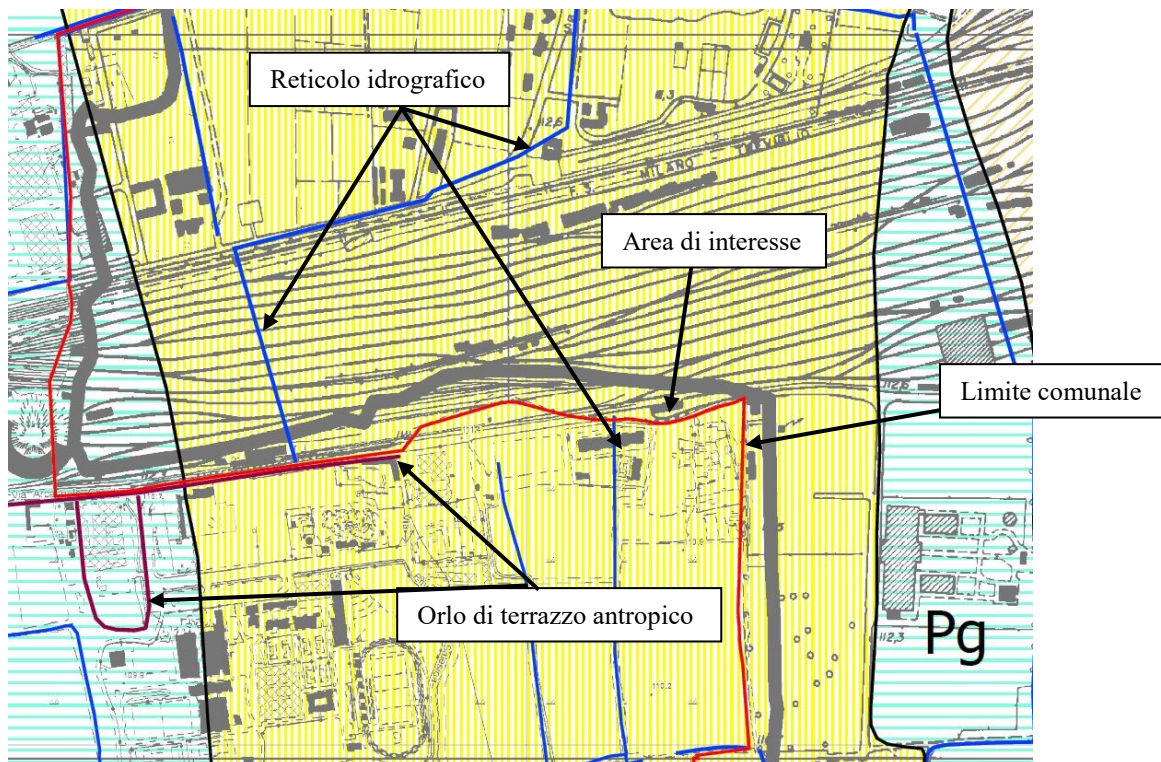


Fig. 2: Stralcio della Tavola Cartografica – “Caratteri Geologici e Geomorfologici”- PGT Comune di Segrate.

Assetto idrogeologico

Estratto Relazione Illustrativa allegata alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Segrate.

Il modello idrogeologico dell'area di studio è stato ricostruito integrando informazioni e/o caratterizzazioni idrodinamiche reperite o effettuate dagli autori, relative ad opere di captazione pubbliche e private, con i dati desunti dagli studi idrogeologici più autorevoli e aggiornati relativi agli acquiferi padani della Regione Lombardia, di seguito sintetizzati.

Nella schematizzazione idrostratigrafica si è tenuto conto della suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta nel 1995 da Avanzini M., Beretta G.P., Francani V. e Nespoli M., che prevede dall'alto verso il basso:

- *Unità ghiaioso-sabbiosa, costituita da facies fluviali dell'Olocene-Pleistocene Superiore;*
- *Unità sabbioso-ghiaiosa costituita da facies fluviali del Pleistocene Medio;*
- *Unità a conglomerati e arenarie, costituita da facies fluviali del Pleistocene Inferiore;*
- *Unità sabbioso-argillosa, costituita da facies continentali e transizionali, riconducibili a Pleistocene Inferiore, al Villafranchiano Superiore e Medio Auctorum;*
- *Unità argillosa, costituita da facies marine riconducibili al Pleistocene Inferiore e al Calabriano Auctorum*

Tale suddivisione è stata aggiornata sulla base delle risultanze dello studio Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia 3, pubblicato nel 2002 dalla Regione Lombardia in collaborazione con Eni-Divisione Agip e del relativo Aggiornamento geologico-stratigrafico (marzo 2005). In tale studio si propone un modello geologico del sottosuolo della pianura a scala regionale, che individua quattro Gruppi Acquiferi SVOVRAPPOSTI (A,B,C, e D), delimitati alla base dall'interfaccia acqua dolce/acqua salata, come di seguito riportato:

- *Gruppo Acquifero A (Olocene, Pleistocene Superiore – Pleistocene Medio); praticamente corrispondente alla suddetta unità ghiaioso-sabbiosa, costituisce la porzione superiore del cosiddetto Acquifero tradizionale.*
- *Gruppo Acquifero B (Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'insieme delle suddette unità sabbioso-ghiaiosa e a conglomerati e arenarie, costituisce la porzione inferiore del cosiddetto Acquifero Tradizionale;*
- *Gruppo Acquifero C (Pleistocene Inferiore); corrispondente alla porzione superiore della suddetta unità sabbioso-argillosa;*

- Gruppo Acquifero D (Pleistocene Inferiore); corrispondente alla porzione inferiore della suddetta unità sabbioso-argillosa;

Di seguito si riporta la descrizione delle caratteristiche strutturali dei gruppi acquiferi interessanti il territorio di indagine, come desunta dal primo dei due studi di letteratura consultati; nel paragrafo seguente la descrizione viene affinata sulla base dell'esame delle stratigrafie dei pozzi presenti nella zona.

Unità Ghiaioso-sabbiosa (Fluviali Würm, Würm tardivo e alluvioni recenti Auct.) [Gruppo Acquifero A] - L'unità in esame è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi grossolani con lenti argillose di limitato spessore ed estensione areale; nella terminologia di uso corrente viene identificata come "Primo Acquifero" in quanto forma la roccia serbatoio della falda libera del settore milanese. Nel settore di alta pianura l'unità in esame contiene una falda libera, in comunicazione con quella del "Ceppo", unicamente in alcuni settori localizzati riferibili a strutture di "paleoalveo", risultando insatura nelle restanti aree. Solo a partire dalla media pianura difatti, in relazione all'avvicinamento del livello piezometrico alla superficie del terreno, l'unità forma il primo acquifero (Francani e Pozzi, 1981). L'insieme degli acquiferi contenuti in questa unità e in quella successivamente descritta, viene identificato come "Acquifero Tradizionale" in quanto costituisce il corpo idrico sotterraneo contenente la falda tradizionalmente sfruttata dai pozzi dell'area milanese. Nella realtà questo complesso è formato da un sistema multifalda che viene assimilato ad un monostrato acquifero. Questa condizione strutturale assume un carattere ancor più marcato nelle aree di bassa pianura dove, in relazione all'affinamento della granulometria dei terreni, l'unità in esame è caratterizzata già a partire dalla superficie dalla prevalenza di livelli limoso-argillosi ai quali si alternano terreni più grossolani (sabbie e sabbie con ghiaia), che formano acquiferi con falde semi-confinata o confinata.

Unità Sabbioso-ghiaiosa (Fluviali Mindel-Riss Auct.) [Gruppo Acquifero B] - Nell'area di Milano questo complesso, attribuito al Pleistocene Medio, forma la parte basale dell'"Acquifero Tradizionale" ed è identificata sotto l'aspetto idrogeologico come "Secondo Acquifero". E' costituita da una alternanza di depositi ghiaioso-sabbiosi, sabbiosi e limoso-argillosi, talora con lenti cementate conglomeratiche o arenitiche. Anche in questa unità procedendo verso Sud si verifica una riduzione di granulometria che conferisce caratteri litologici del tutto analoghi a quelli della sottostante unità sabbioso-argillosa in facies continentale. Gli acquiferi contenuti in essa sono separati dalla falda sovrastante da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi e argille, che limitano gli scambi tra la falda libera del primo acquifero e quella contenuta nel

secondo acquifero. Per tali motivi le falde in essa contenute risultano semi-confinare e localmente possono assumere caratteristiche prossime a quelle confinate.

Unità Sabbioso-argillosa [Gruppi acquiferi C-D] - L'unità è costituita in prevalenza da argille e limi di colore grigio e giallo (con frequenti alternanze nella colorazione) con torbe (Pleistocene medio e inferiore), che forma il substrato della falda tradizionalmente sfruttata. A questi litotipi sono intercalate lenti più o meno estese di sabbie, ghiaie e conglomerati che formano acquiferi con falde confinate che vengono identificati con la denominazione di "Terzo Acquifero" o "Acquiferi Profondi".

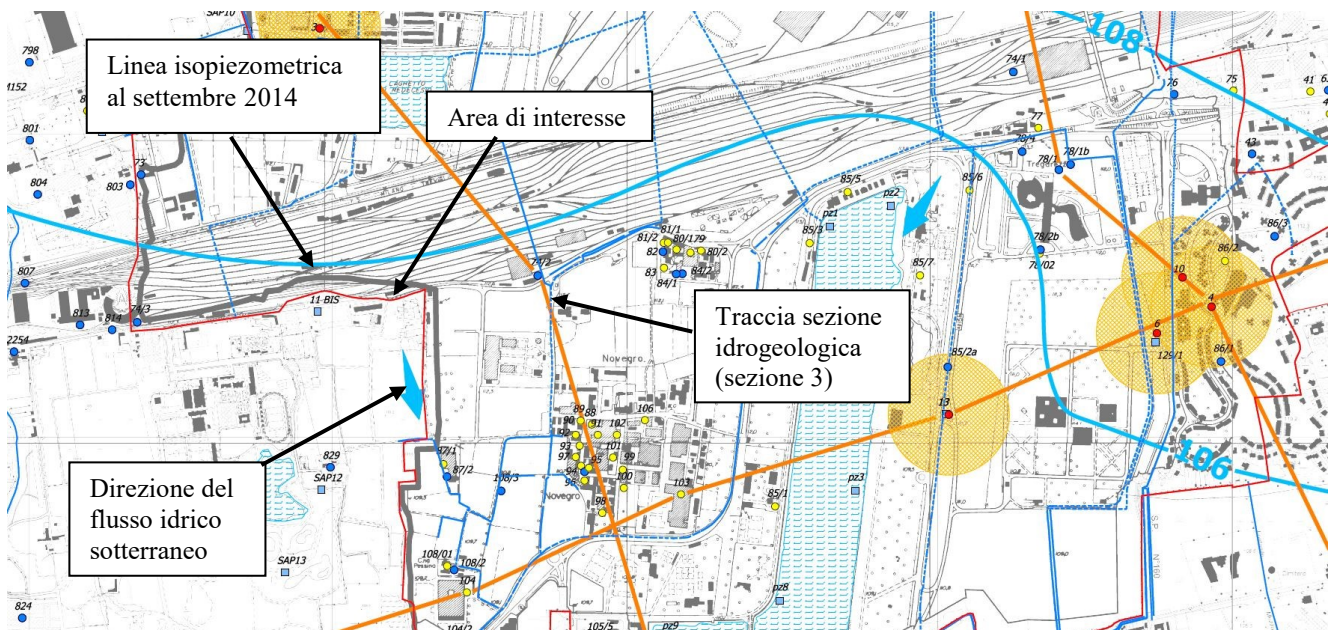


Fig. 3: Stralcio della Tavola Cartografica – “Caratteri Idrogeologici”- PGT Comune di Segrate.

Da quanto si evince dalla Figura 3 (stralcio della carta dei “Caratteri Idrogeologici” – PGT Comune di Segrate) per l’area di interesse la quota della isopiezometrica è posta alla quota di 106 m s.l.m. Tale dato è riferito al settembre 2014, pertanto costituisce un utile elemento di comparazione con quanto desunto dalle misure piezometriche eseguite nell’area di interesse durante la campagna di indagini geognostiche del 2019. Inoltre si riscontra che la direzione del flusso idrico sotterraneo presenta un andamento NNO-SSE. Per definire l’assetto idrogeologico locale si fa riferimento alle risultanze della sezione idrogeologica evidenziata in figura 3, in quanto limitrofe all’area di interesse, e pertanto esaustiva delle condizioni idrogeologiche del sito. Da quanto evidenziato in figura, in tale zona la sezione idrogeologica intercetta il pozzo privato avente codice 74/2.

SEZIONE 3

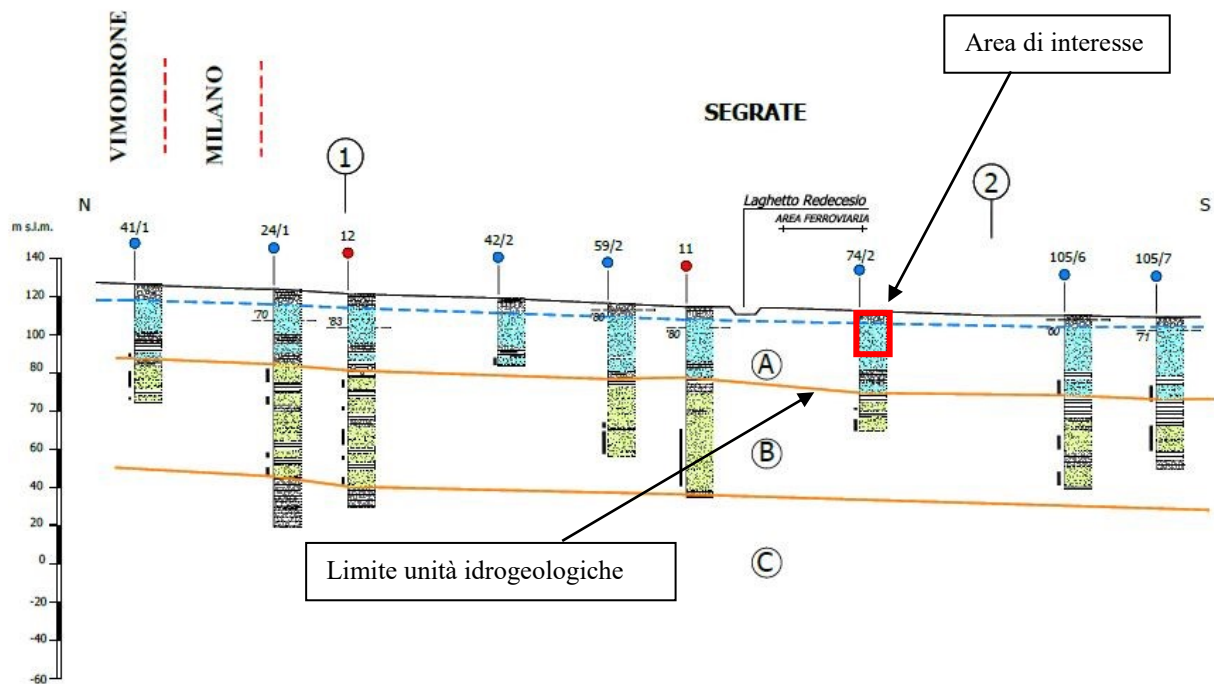


Fig. 4: Stralcio della Tavola Cartografica – “Sezioni Idrogeologiche”- PGT Comune di Segrate.

In figura 4 si riporta l’ubicazione dell’area di interesse, la quale è contestualizzata rispetto alle unità idrogeologiche raffigurate in sezione. Considerando la quota del piano fondale della struttura in progetto, si evince che la falda idrica intercettata con le indagini geognostiche è afferente all’acquifero superiore, ovvero trattasi del Gruppo Acquifero A.

- Descrizione caratteristiche del Gruppo Acquifero A

Ghiaie e ghiaie grossolane a matrice sabbiosa grossolana con subordinati livelli sabbiosi da medi a grossolani, localmente presenti livelli plurimetrici di argille e argille limose.

Ambiente di deposizione: continentale fluviale braided ad alta energia.

Assetto idrografico

Nel territorio di Segrate si rinviene una fitta rete idrografica rappresentata da un sistema di canalizzazioni a scopo irriguo, tali corpi idrici si distinguono in canali e rogge, tra di loro si differenziano per dimensioni e portata idrica, risultante maggiore nei canali. In tale contesto si inserisce la rete naturaliforme rappresentata dalle teste e aste di fontanili. I canali ad esclusivo uso irriguo sono classificati in riferimento alla sezione idraulica e portata, dunque si hanno: Canali derivatori, Canali diramatori, Canali adacquatori.

Di seguito si riporta un estratto della Relazione Illustrativa allegata alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Segrate.

Per fontanile si intende uno scavo artificiale del suolo eseguito con l'intento di captare e contenere in un sistema di canali irrigui artificiali le acque di falda, poste in passato a pochi metri di profondità nel sottosuolo. I fontanili sono costituiti da una testa, di forma circolare e di varie dimensioni, con sponde da poco a mediamente acclivi (40°-50°), dalla quale l'acqua che vi risale viene convogliata in un canale principale detto asta, inizialmente della stessa dimensione e profondità della testa, poi via via sempre meno profondo, fino a raggiungere il piano campagna dove si dirama in varie rogge, cavi o canaletti. Lo sfruttamento dei fontanili ha assunto un'importanza tale da modificare l'economia milanese solo nel XV secolo, dando origine ad un'agricoltura tra le più avanzate dell'epoca. Usando l'acqua dei fontanili per l'irrigazione ci fu un forte aumento della produzione anche di nuovi prodotti (come il riso) e lo sviluppo di nuove tecniche colturali, come la coltivazione del foraggio tramite l'utilizzo delle marcite, anche in ragione della temperatura costante delle acque compresa tra 10 e 12° C, con escursioni termiche annuali che superano raramente i 4°C. Agli inizi degli anni '60 i fontanili si sono prosciugati a causa dell'abbassamento della falda freatica dovuto da un lato alla progressiva impermeabilizzazione dei suoli (urbanizzazione) e all'abbandono delle pratiche agricole irrigue, dall'altro ai massicci prelievi idrici atti a soddisfare una popolazione residente in continuo aumento e la crescente industrializzazione. Il livello di falda, che si trovava a pochi metri sotto il piano campagna, ha subito marcati abbassamenti (cfr. Figura 5.3): il primo con culmine nel 1976 (soggiacenza a -21 m da p.c.) conseguente allo storico sovraemungimento delle falde nell'area milanese, il secondo tra il 1978 e il 1992 determinato dagli scarsi apporti meteorici in questo periodo (soggiacenza a -18 m da p.c.). Dal 1992 la falda è risalita; i dati di soggiacenza relativi all'ultimo quindicennio (2000-2015) relativi ai pozzi di monitoraggio CAP di Segrate ed ai piezometri della Cava Binella (cod. 219, 220) evidenziano che il livello si è attestato nel territorio

di Segrate tra -5 e -15 m da p.c., comunque al di sotto del minimo necessario per la riattivazione dei fontanili. Tale situazione ha portato al progressivo abbandono delle teste e delle aste dei fontanili, che in alcuni casi sono stati utilizzati come sede di collettori fognari e quindi intubati e disconnessi idraulicamente dai canali irrigui, in altri completamente interrati e successivamente occupati da edifici.

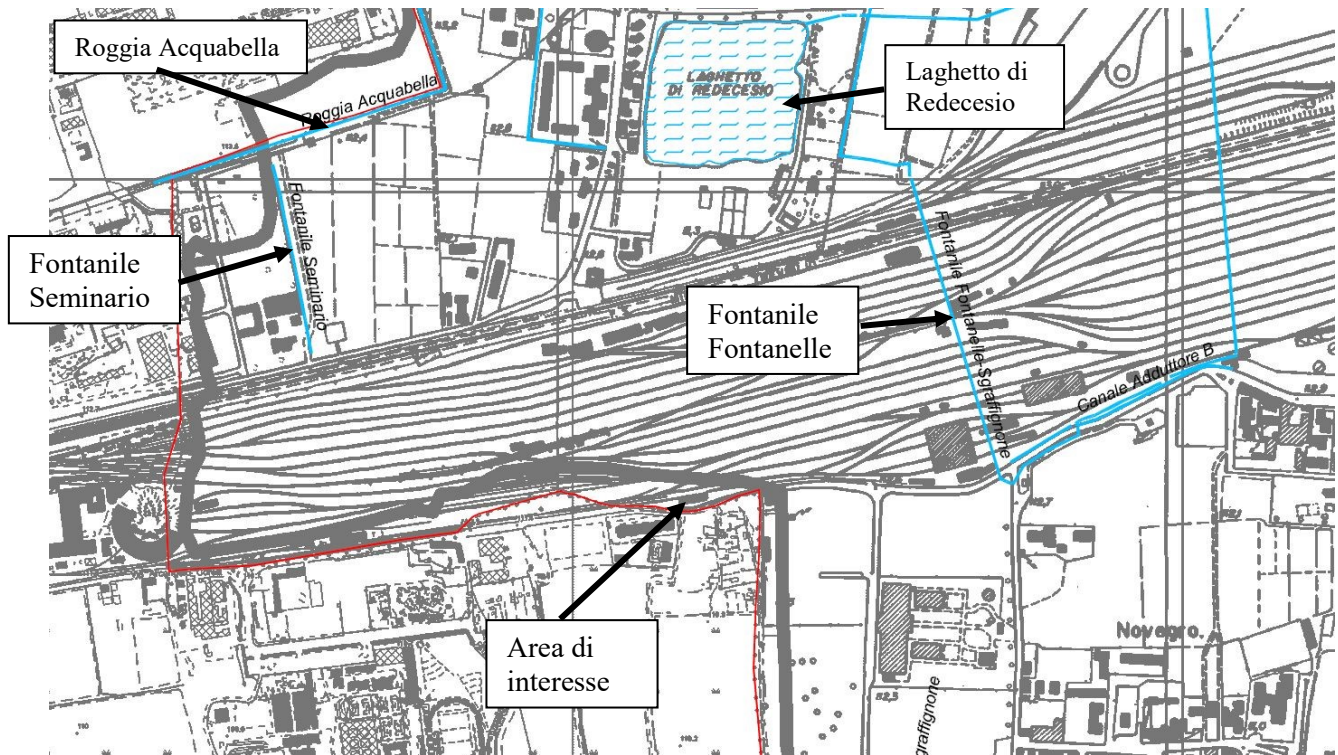


Fig. 5: Stralcio della Tavola Cartografica – “Individuazione dei Corpi Idrici sulle Cartografie Ufficiali” - Comune di Segrate – Documento di Polizia Idraulica.

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po

Estratto Relazione Illustrativa allegata alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Segrate.

La porzione occidentale del territorio comunale di Segrate ricade nei territori di Fascia Fluviale C del Fiume Lambro, delimitati con segno grafico indicato come “limite di progetto tra la fascia B e la fascia C”. Le fasce fluviali considerate sono quelle definite dalla “Variante al PAI – Fasce Fluviali del Fiume Lambro nel tratto del Lago di Pusiano alla confluenza con il Deviatore Redefossi”, approvato con D.P.C.M 10 dicembre 2004, pubblicato sulla G.U. n. 28 del 4/2/2005.

La Variante al PAI introduce sul territorio comunale di Segrate, rispetto al PAI approvato, un consistente ampliamento della Fascia C. Nella porzione settentrionale dell'area di studio, la Fascia C di Variante interessa l'area compresa tra la tangenziale Est di Milano e la Via Cervi in Segrate, includendo edifici dell'Ospedale San Raffaele in Segrate e il cimitero di Lambrate in Milano.

A sud della S.P. n. 103 (Via Cassanese) la nuova Fascia C si estende a seguire il primo tratto degli scavi abbandonati per la realizzazione di una strada in trincea per poi correre lungo Viale delle Regioni/Via Abruzzi fino a chiudersi in corrispondenza dello scalo ferroviario, che costituisce uno sbarramento artificiale all'eventuale deflusso delle acque di esondazione, includendo così l'area industriale a sud della Via Cassanese. Le altre Fasce fluviali non interessano il Comune di Segrate.

Ai sensi dell'art. 31 comma 5 delle N.A. del PAI, i comuni nei quali ricadono aree classificate come “limite di progetto tra le fasce B e C”, in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici sono tenuti a valutare le condizioni di rischio e, al fine di minimizzare le stesse, ad applicare, anche parzialmente fino alla avvenuta realizzazione delle opere, gli articoli delle norme relative alla fascia B. Il Comune di Segrate si è, pertanto, dotato in data febbraio 2005 dello studio idraulico “Valutazioni del rischio idraulico del Fiume Lambro nei territori di Fascia C”. Sulla base dei risultati dello studio idraulico, il territorio di fascia C è stato suddiviso in zone da assoggettare a differenti norme d'uso del suolo in funzione dei livelli di rischio, secondo le quattro classi di rischio definite dal PAI. Si rimanda paragrafo 5.4 della presente relazione per la sintesi dello studio idraulico sopraccitato e alla Tavola “Sintesi degli elementi conoscitivi” per l'individuazione areale delle classi di rischio. Nell'ambito dello studio idraulico è stato previsto l'adeguamento della fattibilità geologica allora vigente (allegata allo studio geologico del marzo 2003) e della normativa geologica a recepimento dei risultati della zonazione del rischio. Il presente documento

recepisce, a sua volta, la fattibilità geologica definita sulla base dello studio idraulico nella porzione compresa all'interno della fascia C del F. Lambro.

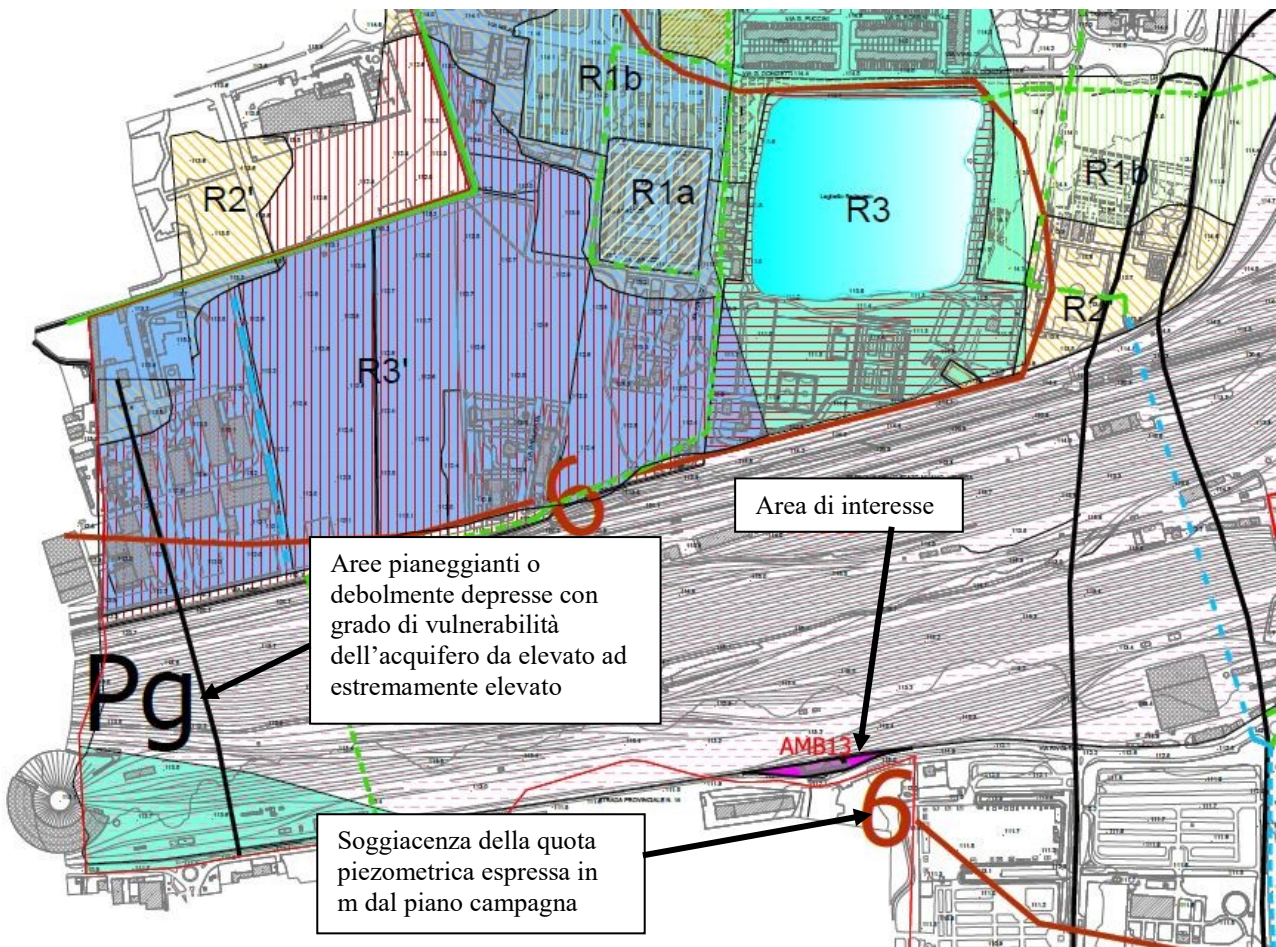


Fig. 6: Stralcio della Tavola Cartografica – “Sintesi degli elementi conoscitivi” – PGT del Comune di Segrate.

Da quanto si evince dalla Figura 6, si riscontra per l'area di interesse l'assenza di condizioni di rischio idraulico, tali aree sono poste a monte di quella di intervento ed oltre la fascia di territorio in cui insiste la rete ferroviaria. Per il sito di interesse viene definita la classificazione come Area geologico tecnica afferente all'unità Pg. Di cui di seguito si fornisce la descrizione.

UNITA'	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE / LITOTECNICHE	VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO
Pg	Aree pianeggianti o debolmente depresse costituite da ghiaie a supporto clastico e/o di matrice sabbioso limosa sino a sabbie fini limose e limi.	Vulnerabilità di grado da estremamente elevato a elevato

PROBLEMATICHE E PECULIARITA'

Area con terreni granulari con buone caratteristiche portanti a partire da 3 m da p.c.. Sviluppato reticolo idrografico artificiale e naturaliforme. Problematiche di rischio idraulico del F. Lambro nelle porzioni nord e centro occidentali. Drenaggio delle acque nel primo sottosuolo localmente mediocre per la presenza di terreni fini superficiali. Possibile interazione degli scavi con la superficie piezometrica. Presenza di aree da sottoporre a verifiche di carattere geotecnico e ambientale (ambiti estrattivi pregressi, aree condizionate da attività antropiche attuali e pregresse, ambiti di bonifica) per il quale possono sussistere problematiche di degrado morfologico, di presenza di terreni di riporto con caratteristiche geotecniche diverse da quelle naturali, di rischio potenziale di contaminazione dei terreni e dell'acquifero.

VALUTAZIONE DEL R. NEI TERRITORI DELLA FASCIA C IN COMUNE DI SEGRATE

- R1a** Rischio moderato - possibili danni sociali ed economici marginali: corrisponde alle aree esondabili con tirante idrico $h < 0,1$ m (portata idraulica $T_R = 200$ anni)
- R1b** Rischio moderato - possibili danni sociali ed economici marginali: corrisponde alle aree esondabili con tirante idrico h compreso tra $0,1$ e $0,5$ m (portata idraulica $T_R = 200$ anni)
- R2** Rischio medio - possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche: corrisponde alle aree esondabili con tirante idrico compreso tra $0,5$ e $0,9$ m (portata idraulica $T_R = 200$ anni)
- R2'** Aree attualmente in classe R2 ma riclassificabili in R1b a seguito della realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio previsti a livello di pianificazione di bacino o locale
- R3** Rischio elevato - possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio economiche, danni al patrimonio culturale: corrisponde alle aree esondabili con tirante idrico $h > 0,9$ m (portata idraulica $T_R = 200$ anni)
- R3'** Aree attualmente in classe R3 ma riclassificabili in R2 a seguito della realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio previsti a livello di pianificazione di bacino o locale





PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI NEL BACINO DEL FIUME PO - Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2015

-  Pericolosità RP scenario poco frequente (M)
-  Pericolosità RP scenario raro (L)

AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO



AMBITI OGGETTO DI VERIFICA AMBIENTALE/BONIFICA

-  Aree con procedimento e/o bonifica conclusa (concentrazioni al sito inferiori alle CSC/CSR per la destinazione residenziale/verde pubblico) (AMB2, AMB3, AMB 4, AMB 8)
-  Aree con procedimento e/o bonifica conclusa (concentrazioni al sito inferiori alle CSC per la destinazione industriale/commerciale) (AMB6, AMB7, AMB 10, AMB11, AMB12)
-  Aree con procedimento e/o bonifica conclusa (concentrazioni al sito superiori alla CSC per la destinazione industriale/commerciale, ma inferiori alla CSR) (AMB 5, AMB13)
-  Aree con iter di bonifica in corso (Piani di Caratterizzazione, Progetti di Bonifica) (AMB1, AMB9, AMB14, AMB15, AMB 16, AMB17, AMB18)

Inoltre, sempre dall'analisi di tale supporto cartografico, si evincono utili informazioni dal punto di vista ambientale, ovvero inteso come ambiti oggetto di verifica ambientale/bonifica. In particolare, sotto tale aspetto l'area di interesse rientra in categoria Ambito 13, poiché risulta essere inquadrata come area con procedimento e/o bonifica conclusa (concentrazioni al sito superiori alla CSC per la destinazione industriale/commerciale, ma inferiori alla CSR).

Classe di fattibilità geologica per l'area di intervento

Estratto Relazione Illustrativa allegata alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Segrate.

La carta della fattibilità geologica per le azioni di piano è stata redatta alla scala di dettaglio 1:5.000 (Tav. 9a) e alla scala 1:10.000 (Tav. 9b) per l'intero territorio comunale. La suddivisione in aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità effettuata nella fase di sintesi (Tav. 8), è stata ricondotta a diverse classi di fattibilità in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio, secondo quanto prescritto dalla d.g.r. 30 novembre n. IX/2616 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008 n.8/7374.

Per l'intero territorio comunale, l'azzonamento prioritario per la definizione della carta della fattibilità geologica è risultato quello relativo all'individuazione di aree vulnerabili dal punto di vista idraulico / idrogeologico, a cui è stato sovrapposto l'azzonamento derivante dai condizionamenti determinati dalla presenza di aree che hanno subito sostanziali modifiche antropiche, quali aree sottoposte a verifiche ambientali e/o oggetto di bonifica.

L'analisi del piano urbanistico ha evidenziato una criticità legata all'insufficiente dimensionamento dell'impianto di depurazione di Peschiera Borromeo a cui conferiscono le acque reflue di Segrate.

Pertanto, ai sensi dell'art. 14 comma 5 bis del PTCP, la realizzazione degli interventi previsti nel PGT dovrà essere subordinata al raggiungimento dei requisiti di funzionalità delle reti di scarico, dell'impianto di depurazione e alla preventiva verifica da parte del Gestore.

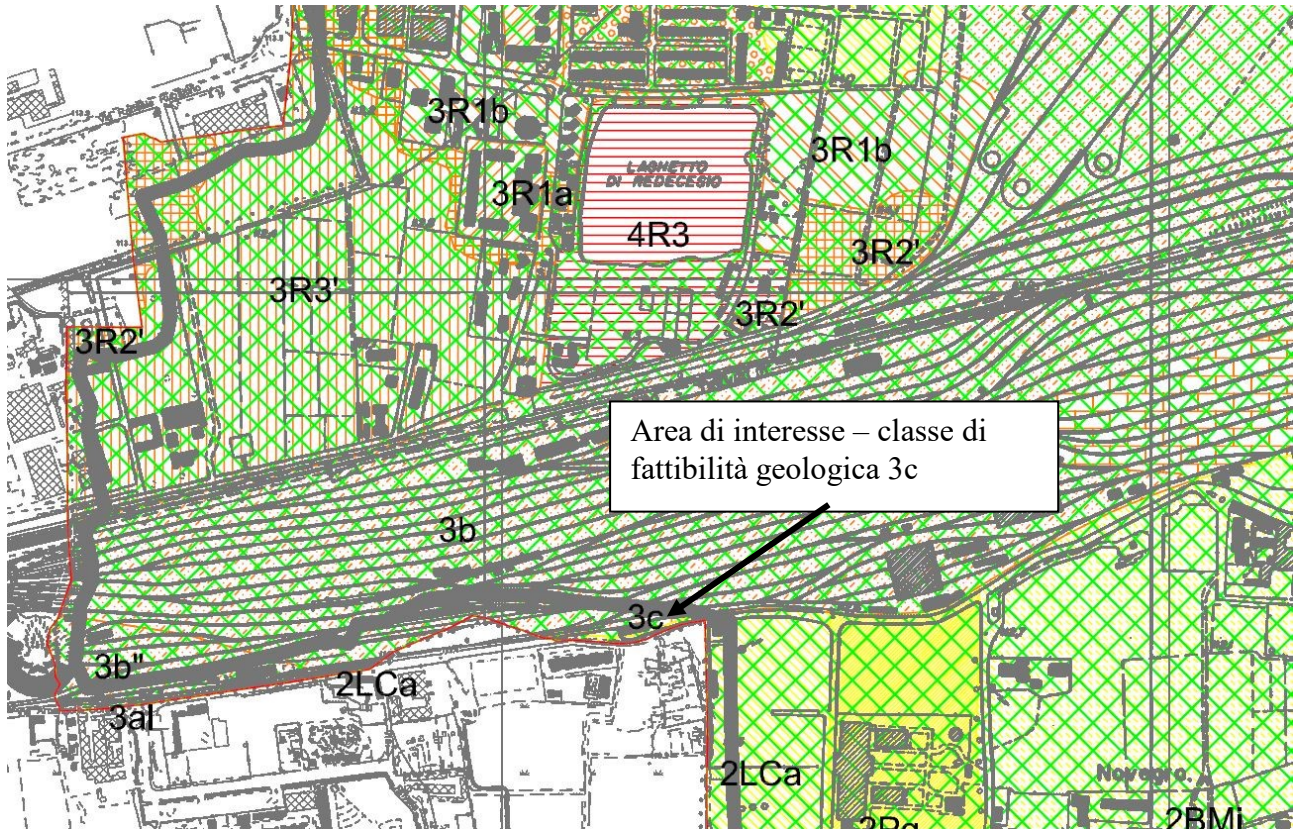


Fig. 7: Stralcio della Tavola Cartografica – “Fattibilità Geologica” – PGT del Comune di Segrate.

L’area di interesse ricade in classe di Fattibilità Geologica 3c (sottocategoria della classe di fattibilità 3, ovvero Fattibilità con consistenti limitazioni), pertanto si applicano le indicazioni contenute nel PGT del Comune di Segrate di seguito riportate:

Classe 3c – ambiti di bonifica

Classe 3c': ambiti di bonifica in aree a soggiacenza < 5 m da p.c. (fattibilità con consistenti limitazioni)

Principali caratteristiche: Azienda classificata a rischio di incidente rilevante che per tipologia di lavorazione e/o di materiale utilizzato/stoccato potrebbe determinare una contaminazione dei suoli e ambiti di bonifica:

- siti oggetto di Piani di Caratterizzazione e Progetti di Bonifica a diversi stadi di attuazione;
- siti bonificati ai sensi del D.Lgs 152/06, da sottoporre, in caso di dismissione o cambio di destinazione d'uso, a verifica dello stato di contaminazione con limiti di riferimento più restrittivi rispetto agli obiettivi raggiunti con la bonifica.

Classe 3c*: aree inserite in classi di fattibilità 3R1a e 3R1b con problematiche di rischio idraulico moderato.

Classe 3c': soggiacenza < 5 m da p.c.. Possibile interazione degli scavi con la superficie piezometrica.

Parere sulla edificabilità: Favorevole con consistenti limitazioni legate alla bonifica delle aree e/o al raggiungimento di standard qualitativi dei terreni conformi alla prevista destinazione urbanistica, alla verifica del rischio idraulico (classe 3c*) e alla verifica dell'assetto idrogeologico locale (classe 3c').

Tipo di intervento ammissibile: Da definirsi mediante specifico Piano di Recupero, con le limitazioni d'uso del D.Lgs 152/06 e in funzione del livello di rischio idraulico (classe 3c*) e mediante specifica indagine idrogeologica (classe 3c'). La tipologia edificatoria può essere condizionata dall'entità di contaminazione dei suoli.

Indagini di approfondimento necessarie, preventive alla progettazione: qualora la modifica di destinazione d'uso di queste aree e la fruizione del sito richiedesse l'adozione di limiti di accertabilità della contaminazione più restrittivi di quelli raggiunti con gli interventi di bonifica conclusi, dovranno avviarsi le procedure previste dal D. Lgs. 152/06 “Norme in materia ambientale” (Analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB).

Ad approvazione dei progetti relativi alla bonifica e messa in sicurezza dei siti inquinati, si richiedono indagini geotecniche (IGT), finalizzate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni, all'individuazione del livello piezometrico locale e al corretto dimensionamento degli elementi fondazionali; si rendono necessari inoltre la valutazione delle condizioni di stabilità dei fronti di scavo (SV) finalizzata alla progettazione delle opere e alla previsione delle opportune opere di protezione degli scavi o degli sbancamenti durante i lavori di cantiere. Nel caso di opere di edilizia residenziale e produttiva di grande estensione areale e di opere infrastrutturali (tipo 3, 4, 6) che prevedano la realizzazione di piani interrati, dovrà essere valutata tramite monitoraggio piezometrico (MP) e studio storico dell'escursione di falda, la possibile interazione delle acque di falda con l'opera stessa, nonché la conseguente compatibilità degli interventi con la circolazione idrica. All'interno della classe 3c* la progettazione dovrà tenere conto inoltre della possibilità che si verifichino episodi di allagamento con tiranti idrici massimi pari a 0,5 m e variabili in funzione dell'andamento planoaltimetrico locale. Per una definizione puntuale del tirante idrico, si rendono necessari studi di compatibilità idraulica locale (SCI) secondo l'allegato 4 della D.G.R. IX/2616/11 per le aree a rischio di esondazione, finalizzati alla verifica delle interferenze tra assetto idraulico ed intervento in progetto con individuazione delle opere di mitigazione del rischio sia in fase di cantiere che ad opere ultimate. Gli studi idraulici forniranno le quote di allagamento locale al fine di definire le condizioni di progettazione delle (cfr. norme classe 3R1a, 3R1b).

All'interno della **classe 3c'**, per tutte le opere edificatorie che prevedano la realizzazione di piani interrati, dovrà essere inoltre valutata tramite monitoraggio piezometrico (MP) e studio storico dell'escursione di falda, la possibile interazione delle acque di falda con l'opera stessa, nonché la conseguente compatibilità degli interventi con la circolazione idrica

Interventi da prevedere in fase progettuale: quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario che per ogni nuovo insediamento sia civile che industriale, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi fognari in fognatura e delle acque non smaltibili in loco (CO). Sono da prevedere interventi di regimazione idraulica (RE) per lo smaltimento delle acque superficiali e sotterranee ed interventi di difesa del suolo nelle aree a rischio idraulico (DS).

Qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D. Lgs 152/06, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO).

Norme sismiche da adottare per la progettazione: dovrà essere eseguita un'analisi di approfondimento sismico di 2° livello di verifica locale solo nei casi di edilizia singola uni-bifamiliare, 3 piani al massimo, di limitata estensione (opere di tipo 1), al fine di individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (F_a calcolato superiore a F_a soglia). In tal caso, se $F_a > \text{soglia}$, la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello, ai sensi delle metodologie di cui all'allegato 5 della D.G.R. n. IX/2616/11 o, in alternativa, si dovrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore. Se F_a calcolato è $< F_a$ soglia la progettazione dovrà essere condotta utilizzando lo spettro di risposta elastico previsto dal D.M. 14 gennaio 2008.

In tutti gli altri casi (opere di tipo 2, 3, 4), la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di approfondimento di 3° livello, oppure dovranno essere utilizzati gli spettri di normativa per la categoria di suolo superiore.

Inquadramento sismico

La Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3. C. 108, lett. d) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordi'anza O.P.C.M. 3519/06 “Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

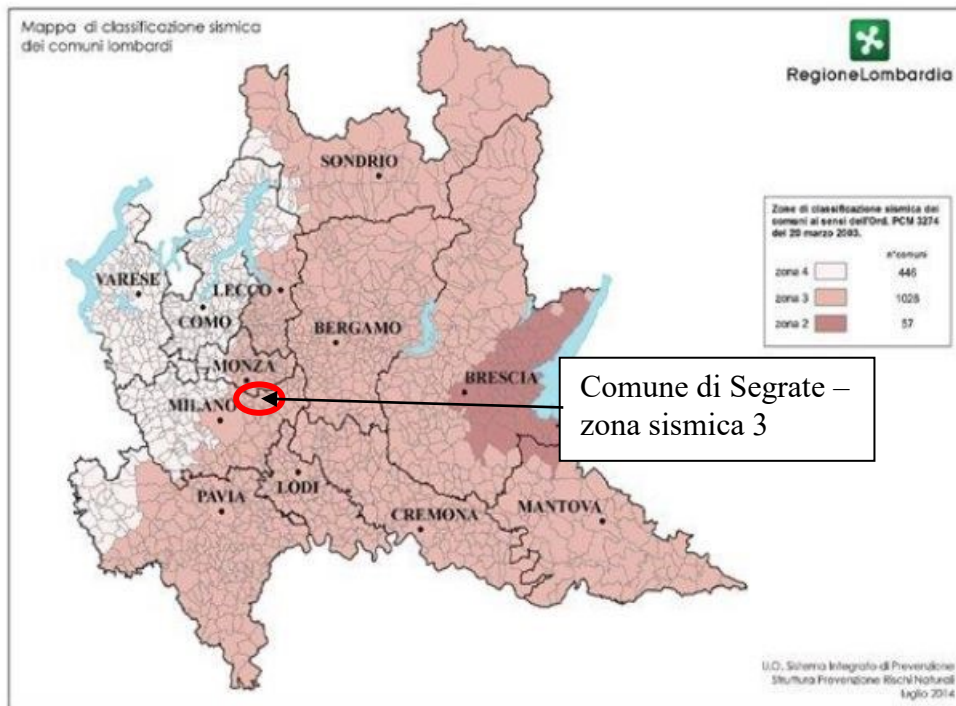


Fig. 8: Classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia

Secondo la classificazione vigente il Comune di Segrate si trova in zona sismica 3 la quale è caratterizzata da un valore di A_{gmax} pari a 0,0572052.

Indagini geognostiche

Al fine di definire il modello geologico dell'area di interesse è stata eseguita nel mese di Maggio del 2019 una campagna di indagini geognostiche eseguita da Trivel Sondaggi S.r.l., le risultanze di tali indagini si ritengono esaustive al fine di eseguire una caratterizzazione geologico-tecnica del sottosuolo di fondazione per come definito dal D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

La campagna di indagini è consistita in:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo,

S1 profondità di 30 m – attrezzato a piezometro

S2 profondità di 45 m – attrezzato per esecuzione indagine sismica Down-Hole

S3 profondità di 30 m – attrezzato a piezometro

S4 profondità di 45 m

- n. 58 prove SPT in foro

- n. 8 prove di permeabilità Lefranc eseguite in foro

- n. 1 prova di pompaggio

- n. 1 slug-test

- n. 18 prelievo di campioni ed analisi di laboratorio e relative prove di laboratorio

- n. 1 indagine sismica Down-Hole

- n. 1 indagine sismica MASW

- n. 1 indagine sismica HVSR

- n. 2 indagini sismiche a rifrazione in Onde P

A completamento di tale campagna geognostica sono state eseguite ulteriori indagini con esclusivo interesse di acquisire informazioni sulla caratterizzazione ambientale del sottosuolo ai sensi del D.Lgs 152/2006. A tale scopo sono state eseguite le seguenti prove:

- n. 3 sondaggi ambientali:

S5 profondità 7 m

S6 profondità 7 m

S7 profondità 7 m

- analisi ambientali sui campioni prelevati e sulle acque di falda

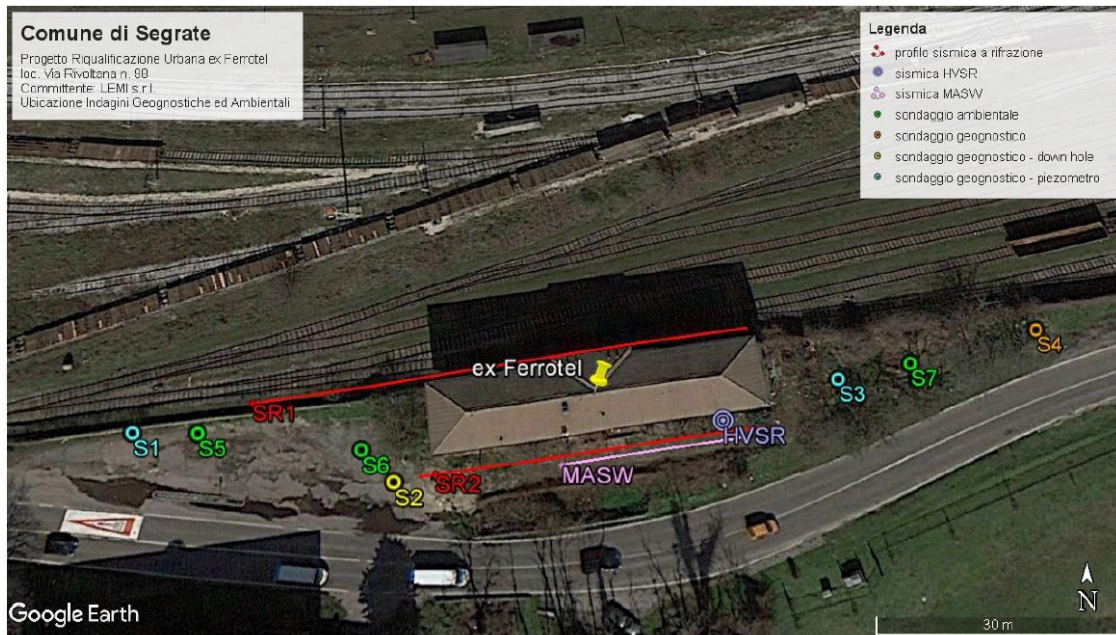


Fig. 9: Ubicazione indagini geognostiche

Modello geologico - caratteristiche stratigrafiche

I sondaggi geognostici hanno consentito di definire l'assetto stratigrafico caratterizzante l'area di interesse fino alla profondità di 45 m. In particolare si evince la presenza di una successione deposizionale fluvioglaciale la quale è nota in letteratura come Sintema di Cantù. La sequenza stratigrafica si può schematizzare nel seguente modo:

UG1 (Unità Geotecnica 1) – depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose

UG2 (Unità Geotecnica 2) – depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa

UG3 (Unità Geotecnica 3) – depositi limosi con sabbia e argilla

Dal raffronto tra le colonne stratigrafiche si nota che dal piano campagna e fino a 28/29 m di profondità, si ha una sequenza sedimentaria dominata dalla presenza delle unità geotecniche UG1 e UG2 le quali si succedono intervallandosi a vicenda, solo in corrispondenza del sondaggio S4 tale rapporto si protrae fino a profondità maggiori ovvero 32/33 m. In tutti i sondaggi eseguiti si nota che tale trend si interrompe a causa della presenza di un'intercalazione limo-sabbiosa ed argillosa, afferente all'unità geotecnica UG3. Tale livello si riscontra a 28/29 m nei sondaggi S1-S2-S3- ed a circa 33 m nel sondaggio S4, il suo spessore non è molto consistente e varia tra 0,5 e circa 3 m, lo spessore massimo viene raggiunto in S2 e poi è evidente la tendenza di un'assottigliamento laterale per come registrato nei sondaggi S1 ed S4. Dopo tale livello limoso, riprende la successione dominata dalle intercalazioni tra le UG1 ed UG2, la quale termina a circa 42 m di profondità, laddove si rinviene un altro livello limo-sabbioso-argilloso (UG3). Nei sondaggi attrezzati con piezometro è stata rinvenuta la presenza di falda idrica alla profondità di 6 m dal p.c.

SCALA 1 :155

STRATIGRAFIA - S1 (piezometro)

Pagina 1/1

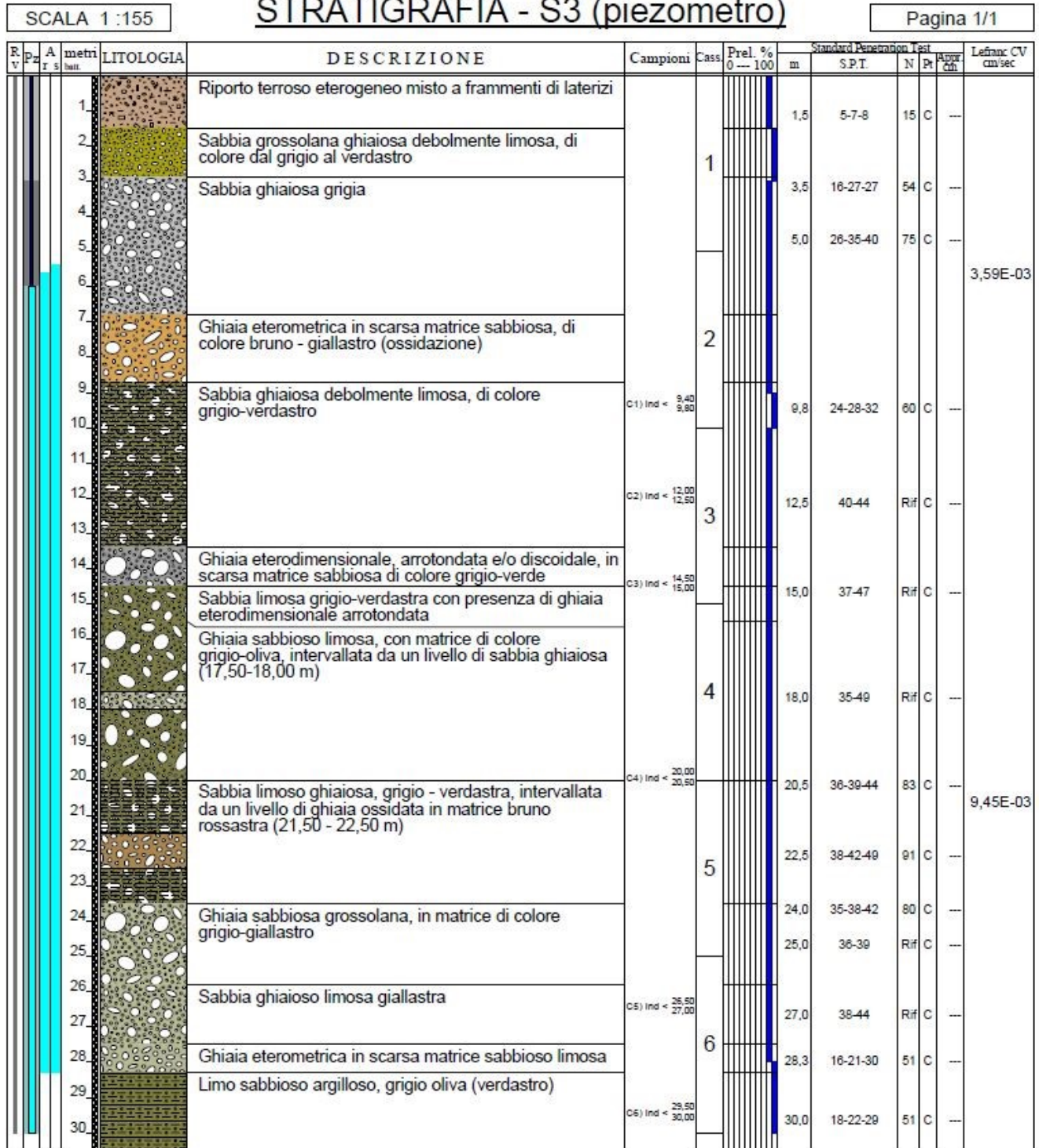
R. v	Pz r	A s	metri basi	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	Cass.	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test				Lefranc CV cm/sec							
									m	S.P.T.	N	Pl		Appr Ch						
			1.		Pavimentazione stradale e relativa fondazione in misto granulare grossolano stabilizzato e cemento															
			2.		Riperto eterogeneo in matrice limosa marrone															
			3.		Sabbia ghiaiosa grigia con debole livello di sabbia fine tra 4,3 e 4,5 m dal p.c.															
			4.																	
			5.		Ghiaia sabbioso limosa, con matrice di colore grigio															
			6.																	
			7.																	
			8.																	
			9.		Sabbia ghiaiosa debolmente limosa, di colore grigio-verdastro	C1) Ind <		8,50 9,00												
			10.		Ghiaia eterodimensionale, arrotondata e/o discoidale, in scarsa matrice sabbiosa di colore da grigio a marrone															
			11.		Sabbia limosa grigio-giallastra con presenza di ghiaia eterodimensionale arrotondata															
			12.																	
			13.																	
			14.		Sabbia limoso-argillosa verdastra, compatta	C2) Ind <		13,50 14,00												
			15.		Ghiaia eterodimensionale in scarsa matrice sabbiosa grigia, intervallata da due deboli livelli (16,60-17,00 m; 18,50-18,90 m) in cui prevale la componente sabbiosa (sabbia ghiaiosa) giallastra															
			16.																	
			17.																	
			18.																	
			19.		Sabbia limoso-ghiaiosa grigio-verdastro	C3) Ind <		19,00 19,50												
			20.																	
			21.		Ghiaia eterodimensionale, con presenza anche di grossi ciottoli, in debole matrice sabbioso limosa grigio-giallastra															
			22.		Sabbia limoso ghiaiosa di colore grigio-giallastro, intervallata da deboli livelli di sabbia limosa verdastra e di ghiaia grossolana															
			23.																	
			24.																	
			25.																	
			26.																	
			27.																	
			28.																	
			29.																	
			30.																	

SCALA 1 :230

STRATIGRAFIA - S2 (down hole)

Pagina 1/1

R v	P z	A I s	metri basi	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	Cass	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Lefranc CV cm/sec		
									m	S.P.T.	N		Pl	Appr chi
			1.		Riporto eterogeneo in matrice limosa marrone									
			2.		Sabbia limoso-ghiaiosa grigia									
			3.											
			4.		Ghiaia in scarsa matrice sabbiosa, di colore grigio									
			5.		Sabbia ghiaiosa debolmente limosa, di colore grigio-giallastro									
			6.											
			7.											
			8.		Ghiaia eterodimensionale, arrotondata e/o discoidale, in scarsa matrice sabbiosa di colore da grigio a marrone									
			9.											
			10.		Sabbia limosa grigio-oliva con presenza di ghiaia eterodimensionale arrotondata ed alternanza di deboli livelli di sabbia fine									
			11.											
			12.											
			13.											
			14.											
			15.											
			16.											
			17.											
			18.											
			19.											
			20.											
			21.		Ghiaia eterodimensionale in scarsa matrice sabbiosa grigia, intervallata da due livelli (20,20 -22,30 m, 24,30 - 25 m) in cui prevale la componente sabbiosa (sabbia ghiaiosa) grigio-giallastra, a tratti con colori bruni dell'ossidazione									
			22.											
			23.											
			24.											
			25.											
			26.		Sabbia limosa con ghiaia, grigio-verdastra									
			27.											
			28.											
			29.		Limo sabbioso argilloso di colore grigio-giallastro, con presenza di ghiaia eterodimensionale arrotondata nella parte superiore									
			30.											
			31.		Argilla limosa debolmente sabbiosa, giallastra									
			32.		Ghiaia eterometrica in scarsa matrice sabbioso limosa di colore grigio-giallastro									
			33.		Sabbia ghiaiosa debolmente limosa, di colore grigio oliva									
			34.											
			35.											
			36.											
			37.		Ghiaia eterodimensionale in scarsa matrice sabbiosa di colore grigio oliva - verdastra									
			38.											
			39.											
			40.		Sabbia fine limosa, a tratti debolmente argillosa, di colore grigio oliva, intervallata da un livello di ghiaia (39,50-39,60 m)									
			41.											
			42.		Limo sabbioso argilloso, bruno-giallastro									
			43.											
			44.											
			45.											



SCALA 1:225

STRATIGRAFIA - S4

Pagina 1/1

R V	Pz	A r s	metri ban	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Campioni	Cass	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test				Lefranc CV cm/sec	
									m	S.P.T.	N	Pr		
			1.		Terreno vegetale e Riporto eterogeneo in matrice limosa marrone				1,5	18-21-24	45	C	---	
			2.											
			3.		Ghiaia eterometrica in matrice sabbioso limosa grigio-giallastro		1		3,0	16-22-25	47	C	---	
			4.						4,5	18-25-28	51	C	---	
			5.						6,0	36-19-35	54	C	---	1,02E-02
			6.						7,5	38-44-49	93	C	---	
			7.		Sabbia ghiaiosa grigio-verdastra, con livello di colore giallastro tra 6,5 e 7,0 m dal p.c.	C1) Ind < 7,00								
			8.											
			9.		Ghiaia eterodimensionale in matrice sabbioso limosa di colore grigio verdastro				10,0	35-38-40	78	C	---	
			10.											
			11.		Ghiaia eterodimensionale, arrotondata e/o discoidale, in scarsa matrice sabbiosa di colore bruno, con livello a matrice prevalente e di colore grigio giallastro tra 13,00 e 13,50 m		3		12,0	35-45-49	94	C	---	
			12.											
			13.		Ghiaia eterodimensionale arrotondata in scarsa matrice sabbiosa grigia				13,5	38-44-48	92	C	---	
			14.						15,0	36-44	Rif	C	---	
			15.											
			16.											
			17.		Sabbia debolmente limosa e con ghiaia eterometrica, di colore grigio-verdastro	C2) Ind < 16,50			17,0	32-45-48	93	C	---	
			18.											
			19.		Livello di ghiaia in scarsa matrice sabbiosa grigia									
			20.		Sabbia con limo ghiaiosa, di colore grigio-verdastro				20,0	30-39-48	85	C	---	1,04E-02
			21.											
			22.											
			23.		Ghiaia etrodimensionale in scarsa matrice sabbiosa di colore grigio-giallastro	C3) Ind < 21,00								
			24.											
			25.		Sabbia debolmente limosa, di colore giallastro, e ghiaia eterometrica				24,0	46-50	Rif	C	---	
			26.											
			27.		Sabbia ghiaiosa debolmente limosa, di colore grigio oliva, alternata a deboli livelli di ghiaia tra 24 e 24,70 m e tra 26,7 e 27,2 m dal p.c.									
			28.											
			29.		Sabbia limoso argillosa, debolmente ghiaiosa, grigio-verdastra	C4) Ind < 28,50			29,0	33-36-39	75	C	---	
			30.											
			31.		Ghiaia grossolana e sabbia limosa di colore grigio-oliva (verdastra)									
			32.											
			33.		Limo argilloso sabbioso, grigio-giallastro		7							
			34.		Sabbia ghiaiosa grigio-verdastra, intervallata da deboli livelli di ghiaia eterometrica arrotondata e/o discoidale (33 - 33,8 m; 35,50 - 36,00 m), e a tratti leggermente ossidata				35,0	36-47-48	95	C	---	
			35.											
			36.											
			37.											
			38.											
			39.											
			40.											
			41.											
			42.						42,0	36-24-24	48	C	---	
			43.		Limo sabbioso argilloso, di colore bruno-giallastro		9							
			44.											
			45.											

Modello geologico - caratteristiche geotecniche

Le unità geotecniche così individuate:

UG1 (Unità Geotecnica 1) – depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose

UG2 (Unità Geotecnica 2) – depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa

UG3 (Unità Geotecnica 3) – depositi limosi con sabbia e argilla
saranno di seguito caratterizzate in funzione delle indagini eseguite.

- Prova Penetrometrica Dinamica SPT

La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionario di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente un'altezza di 0.76 m.

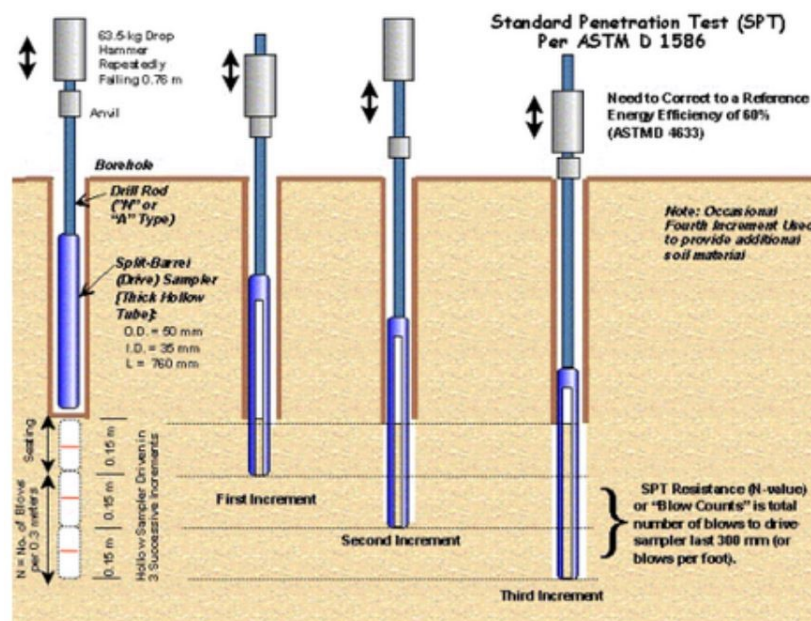


Fig. 10: Schema esecutivo di una prova S.P.T.

Durante la prova si misura:

N_1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionario per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";

N_2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionario nei successivi 15 cm;

N_3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;

testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;

maglio di acciaio di 63.5 kg;

dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;

centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna.

campionatore standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm. Nei terreni ghiaiosi la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm, angolo 60°.

Il campionatore Raymond consta di un tubo diviso longitudinalmente a metà; i due semitubi sono tenuti insieme, durante l'infissione, da una scarpa tagliente avvitata alla base e da un anello in testa. Alla fine della prova si svita la scarpa, il carotiere si apre in due permettendo di estrarre il campione di terreno. La sua vasta diffusione è dovuta principalmente alla facilità di realizzazione, potendo essere eseguita in qualunque tipo di terreno direttamente durante il sondaggio, senza l'adozione di attrezzature supplementari; il suo uso in tutto il mondo ha portato alla produzione di una abbondante bibliografia che rende agevole l'interpretazione dei risultati ottenuti.

- Caratterizzazione Unità Geotecniche

Le unità geotecniche precedentemente descritte sono state caratterizzate mediante le prove S.P.T. al fine di ottenere utili indicazioni sullo stato di addensamento della successione stratigrafica individuata. Tale criterio prende in considerazione il valore di NSPT e fornisce indicazioni in merito ai valori di Densità Relativa secondo le correlazioni fornite da Terzaghi-Peck (1948) e Gibbs-Holtz (1957), di seguito si fornisce la tabella di correlazione utilizzata.

N_{SPT}	DENSITÀ RELATIVA	
	Terzaghi-Peck (1948)	Gibbs-Holtz (1957)
0-4	molto sciolta	0-15%
4-10	sciolta	15-35%
10-30	media	35-65%
30-50	densa	65-85%
> 50	molto densa	85-100%

UG1 (Unità Geotecnica 1) – depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m)	S.P.T.	NSPT
S1	2,00	12-24-26	50
S1	9,00	30-36-38	50
S1	12,00	27-40-49	89
S1	14,00	31-33-38	71
S1	17,00	46-50-50	Rif. (> 50)
S1	19,50	38-44-47	91
S1	22,30	36-44-50	Rif. (> 50)
S1	24,00	35-39-44	83
S1	25,60	36-44	Rif. (> 50)
S1	27,00	46-50	Rif. (> 50)
S1	30,00	50	Rif. (> 50)
S2	3,00	8-6-6	12
S2	10,50	36-50	Rif. (> 50)
S2	13,50	30-39-45	84
S2	19,00	37-45-49	94
S2	21,50	40-45-49	94
S2	25,50	30-35-38	73
S2	34,00	42-49-48	97
S2	40,00	18-27-27	54
S3	3,50	16-27-27	54
S3	5,00	26-35-40	75
S3	9,80	24-28-32	60
S3	12,50	40-44	Rif. (> 50)
S3	15,00	37-47	Rif. (> 50)
S3	20,50	36-39-44	83
S3	22,50	38-42-49	91
S3	27,00	38-44	Rif. (> 50)
S4	17,00	32-45-48	93
S4	20,00	30-39-46	85
S4	29,00	33-36-39	75
S4	35,00	36-47-48	95

Dall'analisi dei valori di Nspt si evince che l'Unità Geotecnica 1 è caratterizzata da un valore di densità relativa tra l'85 ed il 100% e pertanto è definibile come molto densa, in tale classificazione rientrano i depositi sabbiosi con variabile presenza di ghiaia e di livelli sabbioso-limosi. A tale classificazione fanno soltanto eccezione i seguenti valori:

- S.P.T. eseguite nel sondaggio S1 alle profondità di 2.00 m e 9.00 m dove si registra un valore di Nspt di 50 e pertanto si ottiene un valore di densità relativa tra il 65 e l'85 % con classificazione del sedimento come denso. I valori afferenti alla profondità di 2.00 m sono relativi ad una zona di transizione tra il terreno di riporto e sabbia ghiaiosa. Invece i valori relativi alla profondità di 9 m

sono relativi ad una zona di transizione tra depositi di sabbia ghiaiosa deb. limosa e ghiaia in matrice sabbiosa.

- S.P.T. eseguita nel sondaggio S2 alla profondità di 3.00 m dove si registra un valore di N_{spt} di 12 e pertanto si ottiene un valore di densità relativa tra il 35 e il 65 % con classificazione del sedimento avente densità media, ma tale valore è vicino alla categoria inferiore, ovvero con indicazione di un terreno sciolto. Si precisa che tale anomalia registrata nell'Unità Geotecnica 1 ha carattere locale in quanto evidenziata soltanto da una prova S.P.T., e dunque spiegabile con un sedimento in cui vi è una maggiore presenza della componente limosa.

UG2 (Unità Geotecnica 2) – depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m)	S.P.T.	NSPT
S1	6,00	12-19-31	50
S1	21,00	50	Rif. (> 50)
S1	28,50	50	Rif. (> 50)
S2	7,00	22-50	Rif. (> 50)
S2	15,50	30-36-41	77
S2	31,00	36-40-44	84
S2	37,50	46-50	Rif. (> 50)
S3	18,00	35-49	Rif. (> 50)
S3	24,00	35-38-42	80
S3	25,00	36-39	Rif. (> 50)
S4	3,00	16-22-25	47
S4	4,50	18-25-26	51
S4	6,00	36-19-35	54
S4	7,50	38-44-49	93
S4	10,00	35-38-40	78
S4	12,00	35-45-49	94
S4	13,50	38-44-48	92
S4	15,00	36-44	Rif. (> 50)
S4	24,00	46-50	Rif. (> 50)

Dall'analisi dei valori di N_{spt} si evince che l'Unità Geotecnica 2 è caratterizzata da un valore di densità relativa tra l'85 ed il 100% e pertanto è definibile come molto densa, in tale classificazione rientrano i depositi ghiaiosi con variabile presenza di matrice prevalentemente sabbiosa e subordinatamente limo-argillosa. A tale classificazione fanno soltanto eccezione i seguenti valori:

- S.P.T. eseguite nel sondaggio S1 alla profondità di 6,00 m e nel sondaggio S4 alla profondità di 3,00 m, che individuano un valore di densità relativa tra il 65 e l'85% e conseguente classificazione del sedimento come denso. Si evince dall'analisi stratigrafica che tale anomalia ha valenza locale ed è spiegabile con una maggiore presenza della componente limosa.

UG3 (Unità Geotecnica 3) – depositi limosi con sabbia e argilla

Essendo tale unità a prevalente composizione coesiva sarà utilizzata la seguente tabella per la definizione del grado di consistenza di tale litotipo.

Nspt	Consistenza
< 2	Privo di consistenza
2 – 4	Poco consistente
4-8	Moderatamente consistente
8-15	Consistente
15-30	Molto consistente
> 30	Estremamente consistente

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m)	S.P.T.	NSPT
S2	28,00	6-10-12	22
S2	43,30	8-11-13	24
S2	45,00	13-16-18	30
S3	28,30	16-21-30	51
S3	30,00	18-22-29	51
S4	42,00	36-24-24	48

Dall'analisi dei valori di Nspt si evince che l'Unità Geotecnica 3 è caratterizzata da un grado di consistenza che varia da Molto consistente a Estremamente consistente. È significativa la concentrazione dei valori più bassi di S.P.T. in corrispondenza della verticale del sondaggio S2, molto probabilmente vista l'eterogeneità compositiva di tale unità, si evince che tale condizione è dovuta ad un locale decremento della componente sabbioso-ghiaiosa in favore di quella limosa.

Prove geotecniche di Laboratorio

Nell'ambito della presente campagna di indagini geognostiche i campioni indisturbati prelevati in totale sono stati 18, i quali così distribuiti:

S1C1 = 8,5 - 9,0 m da p.c.

S1C2 = 13,5 - 14,0 m da p.c.

S1C3 = 19 - 19,5 m da p.c.

S2C1 = 9 - 9,50 m da p.c.

S2C2 = 15 - 15,50 m da p.c.

S2C3 = 25 - 25,50 m da p.c.

S2C4 = 29,5 – 30 m da p.c.

S2C5 = 42,80 - 43,30 m da p.c.

S3C1 = 9,40 - 9,80 m da p.c.

S3C2 = 12 - 12,50 m da p.c.

S3C3 = 14,50 - 15,0 m da p.c.

S3C4 = 20 - 20,5 m da p.c.

S3C5 = 26,5 – 27 m da p.c.

S3C6 = 29,50 – 30 m da p.c.

S4C1 = 7 - 6,50 m da p.c.

S4C2 = 16,5 – 17 m da p.c.

S4C3 = 21 - 21,50 m da p.c.

S4C4 = 28,5 – 29 m da p.c.

Su tutti i campioni sono state eseguite analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione, caratteristiche fisiche generali (peso di volume naturale, peso di volume secco, contenuto acqua, etc). Inoltre in funzione delle litologie rinvenute durante le perforazioni si è deciso di eseguire specifiche analisi su alcuni campioni, le quali sono di seguito riportate:

- Limiti di consistenza (Atterberg): S2C4, S2C5, S3C6

La determinazione dei limiti di Atterberg permette di ricavare la relazione tra contenuto d'acqua, caratteristiche minerali delle argille e, conseguentemente, del loro comportamento fisico-meccanico. Tali parametri portano ad una chiara correlazione tra comportamento del terreno e contenuto d'acqua del sistema. E' possibile quindi determinare:

- limite di plasticità, cioè il contenuto d'acqua che separa il passaggio dallo stato semisolido al plastico;
- limite di liquidità, cioè il contenuto d'acqua che separa il passaggio dallo stato plastico allo stato fluido;

- l'indice di plasticità che indica il campo di contenuto d'acqua nel quale il terreno ha un comportamento plastico.

Il limite di liquidità si determina a mezzo dell'apparecchio di Casagrande ed è il contenuto d'acqua per il quale il solco tracciato con apposita spatola sulla terra posta in un cucchiaino si richiude dopo 25 cadute. Il limite di plasticità viene determinato formando per rotolamento dei cilindri che raggiungono un diametro di circa 3 mm ed è il contenuto d'acqua corrispondente al formarsi delle prime screpolature [Colombo, Colleselli, 1994]. L'indice di plasticità non è altro che la differenza tra il limite di liquidità e il limite di plasticità.

Le norme utilizzate che disciplinano la determinazione dei Limiti di Consistenza o di Atterberg sono: ASTM D4318 – 00, ASTM D427 – 04, ASTM D4943 – 02.

- Prova edometrica: S1C2, S2C4, S3C2, S3C6

La prova edometrica riproduce in laboratorio le condizioni di consolidazione monodimensionale. La prova è stata eseguita ad incremento di carico. La consolidazione monodimensionale è simulata applicando una sequenza di carichi verticali a un provino di terreno a grana fine cilindrico confinato lateralmente (da un anello rigido) in modo che le deformazioni e il flusso dell'acqua avvengano solo in direzione verticale. Apparecchiatura: anello rigido che contiene il provino, il quale è a contatto superiormente e inferiormente con due pietre porose (permettono la libera fuoriuscita dell'acqua verso l'alto e verso il basso) + capitello rigido per applicazione del carico verticale + telaio di carico provino + anello + pietre sono immersi in acqua per prevenire l'essiccamento del provino

- Prova di taglio diretto e di compressione triassiale consolidata drenata (CID): S2C1, S2C2, S2C3, S2C5, S3C3, S3C4, S3C6, S4C1, S4C3, S4C4

Prova di taglio diretto: La prova è eseguita su un provino contenuto in una scatola (scatola di Casagrande) costituita da due parti sovrapposte, separate lungo un piano orizzontale e fatte scorrere fra loro. Le fasi in cui viene svolta la prova sono due: consolidazione e rottura. Nella prima fase viene gradualmente incrementato il carico assiale (N) applicato alla sezione (A) del provino fino al raggiungimento della pressione di consolidazione ($\sigma'_n = N/A$) desiderata. Durante la fase di consolidazione si monitorano le deformazioni assiali in funzione del tempo, in modo da poter stabilire la fine della fase di consolidazione primaria, prima di ciascun incremento di carico.

In fase di rottura viene imposto uno spostamento, a velocità costante e sufficientemente bassa, in

direzione orizzontale a una delle due parti della scatola, mentre l'altra è contrastata da un sistema rigido, in grado di registrare il carico applicato. Si determina in questo modo una forza orizzontale T che agisce sul piano di separazione tra le due parti della scatola e viene sopportata dalla sezione del provino (definita come superficie di taglio). Su tale sezione agisce una tensione unitaria di taglio $\tau = T/A$

Prova di compressione triassiale consolidata drenata (CID) - S1C1, S1C2, S1C3, S2C4, S3C2, S4C2

La prova è sempre eseguita su almeno tre provini cilindrici, che vengono confezionati mantenendo l'altezza doppia delle diametro; le loro dimensioni standard sono di 3,8 cm circa per il diametro e di 7,6 cm circa per l'altezza. Dimensioni maggiori sono possibili, mentre sono sconsigliabili dimensioni più piccole. Viene eseguita sul materiale saturo: è spesso necessario provvedere ad una iniziale fase di saturazione, ed è pertanto essenziale conoscere il grado di saturazione dei provini. Tale fase è realizzata imponendo ai provini delle pressioni di cella (σ_3) man mano crescenti in gradini successivi di carico. Alla pressione di cella è contrapposta una pressione che agisce internamente al provino, detta Back Pressure (o contropressione interstiziale, BP), che è minore della pressione di cella, anch'essa imposta in gradini successivi di carico. L'azione combinata delle due pressioni in condizioni di drenaggio aperto satura progressivamente i provini. La verifica della saturazione viene eseguita chiudendo il drenaggio ed imponendo una ulteriore pressione di cella, misurando la sovrappressione dell'acqua indotta da questo nuovo sovraccarico, secondo la seguente relazione:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

B è definito come parametro B di Skempton. In un terreno normalconsolidato saturo $B=1$; più complesso è il caso di terreni sovraconsolidati, nei quali il valore di B raramente arriva a 0,75. Terminata la fase di saturazione i provini sono sottoposti a consolidazione. Si impone quindi la pressione di cella definitiva, con relativa contropressione (BP), lasciando aperto il drenaggio fintanto che le sovrappressioni generate non siano state dissipate, ovvero fintanto che le variazioni di volume dei provini risultano trascurabili. La fase di compressione (o di taglio) avviene imponendo una pressione verticale sul provino (σ_1), in modo da generare uno sforzo deviatorico ($\sigma_1 - \sigma_3$). Come detto, la velocità con cui tale sforzo è imposto è molto lenta. Durante tale fase, il drenaggio dei provini rimane aperto. Note la pressione di cella e la BP, che sono identiche a quelle utilizzate in fase di consolidazione, vengono misurate sia la pressione verticale σ_1 , sia la

deformazione e, sia la variazione di volume, sia le pressioni interstiziali. La prova viene conclusa dopo la rottura del provino, definita dalla diminuzione delle resistenze, e comunque dopo che il provino ha raggiunto una deformazione pari al 20% della sua originale altezza (ovvero 15 mm di deformazione nel caso di provini standard).

- Prova taglio torsionale ciclico (determinazione rapporto di smorzamento iniziale): S1C1, S1C2, S1C3, S2C4, S3C2, S4C2

Le prove di taglio torsionale ciclico, TTC, così come le prove RC, sono impiegate per la misura dei parametri dinamici dei terreni a livelli deformativi medio-bassi ($10^{-4} \% < \gamma < 1\%$). L'apparecchiatura per condurre prove di TTC può essere realizzata separatamente o in accoppiamento con quella utilizzata per la prova di RC. Poiché presso il Laboratorio Geotecnico dell'Università di Firenze l'apparecchiatura di colonna risonante è stata adattata per poter effettuare anche prove di taglio torsionale ciclico sarà trattato soltanto il secondo tipo di apparecchiatura. Per quanto concerne le apparecchiature utilizzate per sole prove di TTC si rimanda alla letteratura specifica⁷. Nelle prove di TTC il provino, una volta saturato e consolidato, viene sottoposto all'azione di un momento torcente applicato all'estremità libera per mezzo di un motore torsionale, al quale viene inviato, con un generatore di funzioni, un segnale (sinusoidale o triangolare) di frequenza costante e predeterminata, e ampiezza via via crescente. Per mezzo di due trasduttori di non contatto, applicati in corrispondenza della testa del provino e delle rotazioni da essi misurate, si può tracciare, per l'ampiezza della sollecitazione imposta, il ciclo d'isteresi corrispondente. Conoscendo i cicli d'isteresi per ciascuna ampiezza di sollecitazione applicata, è possibile ricavare la legge di decadimento del modulo di taglio e del rapporto smorzamento. Sia nelle prove di TTC che nelle prove RC, particolarmente delicata è la fase di taratura dello strumento di prova che permette di definire a partire dai dati strumentali il rapporto esistente tra la tensione fornita al motore torsionale e il momento torcente applicato da questo al provino. Le risultanze di tali prove sono state utilizzate per definire nell'ambito dello studio sismico relativo all'approfondimento di 3 livello, le curve di decadimento normalizzate G/G_0 , a cui si rimanda per i relativi dettagli.

UG1 (Unità Geotecnica 1) – depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose

Analisi granulometriche

CAMPIONE	GHIAIA %	SABBIA %	LIMO %	ARGILLA%
S1C1 (8,50 – 9,0 m)	19,1	68,8	9,9	2,2
S1C2 (13,50– 14 m)	0	60,6	21,3	18,1
S1C3 (19,0 –19,5 m)	13,8	58,8	22,9	4,5
S2C3 (25 – 25,5 m)	36,2	49,5	11,7	2,6
S3C1 (9,4 – 9,8 m)	30	46	22,5	1,5
S3C2 (12 – 12,5 m)	12,4	75,6	9,3	2,7
S3C3 (14,5 – 15 m)	26,2	56,7	11,6	5,5
S3C4 (20 – 20,5 m)	28,2	45,3	22,1	4,4
S3C5 (26,5 – 27 m)	36,6	42,1	18,1	3,2
S4C1 (6,5 – 7 m)	28,2	46,1	22,1	3,6
S4C2 (16,5 – 17 m)	7,7	80,5	9,4	2,4
S4C3 (21 – 21,5 m)	21,7	44	29,1	5,2
S4C4 (28,5 – 29 m)	3,6	53,8	37,7	4,9

Caratteristiche fisiche generali

CAMPIONE	Peso di volume naturale Y_n (KN/m ³)	Peso di volume secco Y_d (KN/m ³)	Umidità naturale %
S1C1 (8,50 – 9,0 m)	18,8	15,8	18,8
S1C2 (13,50– 14 m)	20,1	17,5	14,7
S1C3 (19,0 –19,5 m)	20,5	17,5	17
S2C3 (25 – 25,5 m)	20,9	18,6	12,4
S3C1 (9,4 – 9,8 m)	20,2	18,0	12,2
S3C2 (12 – 12,5 m)	20,1	17,0	18,5
S3C3 (14,5 – 15 m)	19,2	16,5	16,5
S3C4 (20 – 20,5 m)	19,8	17,7	11,8
S3C5 (26,5 – 27 m)	19,4	-----	10,1
S4C1 (6,5 – 7 m)	18,3	16,2	12,8
S4C2 (16,5 – 17 m)	20,0	16,7	20,0
S4C3 (21 – 21,5 m)	18,5	16,8	10,6
S4C4 (28,5 – 29 m)	19,0	15,3	24,1

Prova Edometrica

CAMPIONE	Modulo Edometrico KPa (per σ 50-100 KPa)	Modulo Edometrico KPa (per σ 100-200 KPa)	Modulo Edometrico KPa (per σ 200-400 KPa)
S1C2 (13,50– 14 m)	6498	11149	18600
S3C2 (12 – 12,5 m)	4103	9429	19419

Prove di taglio diretto e Prove triassiali consolidate drenate (CID):

CAMPIONE	Coesione (KPa)	Angolo di Attrito interno (°)
S2C3 (25 – 25,5 m)	1,7	30,7
S3C3 (14,5 – 15 m)	0,7	31,2
S3C4 (20 – 20,5 m)	1,1	31,6
S4C1 (6,5 – 7 m)	0,9	31,5
S4C3 (21 – 21,5 m)	2,2	30,3
S4C4 (28,5 – 29 m)	$C_d = 10,7$ KPa	$\phi_d = 25$

UG2 (Unità Geotecnica 2) – depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa

Analisi granulometriche

CAMPIONE	GHIAIA %	SABBIA %	LIMO %	ARGILLA%
S2C1 (9 – 9,50 m)	47,7	38,7	11,7	1,9
S2C2 (15 – 15,5 m)	43,8	38,4	15,5	2,8

Caratteristiche fisiche generali

CAMPIONE	Peso di volume naturale Y_n (KN/m ³)	Peso di volume secco Y_d (KN/m ³)	Umidità naturale %
S2C1 (9 – 9,50 m)	21,6	19,2	12,3
S2C2 (15 – 15,5 m)	20,2	18,2	10,9

Prove di taglio diretto e Prove triassiali consolidate drenate (CID):

CAMPIONE	Coesione (KPa)	Angolo di Attrito interno (°)
S2C1 (9 – 9,50 m)	0,3	31,9
S2C2 (15 – 15,5 m)	0,4	31,5

UG3 (Unità Geotecnica 3) – depositi limosi con sabbia e argilla

Analisi granulometriche

CAMPIONE	GHIAIA %	SABBIA %	LIMO %	ARGILLA%
S2C4 (29,5 – 30 m)	0	0,3	46,1	53,6
S2C5 (42,8 – 43,3 m)	1,5	34,4	43,2	20,9
S3C6 (29,5 – 30 m)	0,3	28,8	61,8	9,1

Caratteristiche fisiche generali

CAMPIONE	Peso di volume naturale Y_n (KN/m ³)	Peso di volume secco Y_d (KN/m ³)	Umidità naturale %
S2C4 (29,5 – 30 m)	18,3	13,6	34,4
S2C5 (42,8 – 43,3 m)	18,5	14,8	24,7
S3C6 (29,5 – 30 m)	18,8	15,6	20,7

Limiti di consistenza

CAMPIONE	Limite di liquidità %	Limite di Plasticità %	Indice di Plasticità %	Indice di Consistenza
S2C4 (29,5 – 30 m)	43,4	33,7	9,7	0,93
S2C5 (42,8 – 43,3 m)	56,9	32,6	24,3	1,32
S3C6 (29,5 – 30 m)	51,2	31,5	19,7	1,55

Prova Edometrica

CAMPIONE	Modulo Edometrico KPa (per σ 50-100 KPa)	Modulo Edometrico KPa (per σ 100-200 KPa)	Modulo Edometrico KPa (per σ 200-400 KPa)
S2C4 (29,5 – 30 m)	3819	6344	10170
S3C6 (29,5 – 30 m)	4219	6803	11628

Prove di taglio diretto e Prove triassiali consolidate drenate (CID):

CAMPIONE	Coesione (KPa)	Angolo di Attrito interno (°)
S2C5 (42,8 – 43,3 m)	$C_d = 31,5$ KPa	$\phi_d = 24,6$
S3C6 (29,5 – 30 m)	$C_d = 19$ KPa	$\phi_d = 25$

Valutazione delle caratteristiche geotecniche

Analizzando le risultanze delle analisi granulometriche, condotte su tutti i campioni prelevati e significative della successione stratigrafica poiché ben distribuite lungo tutta la profondità indagata, si evince una certa variabilità composizionale dei litotipi investigati. Tale aspetto ha guidato la formulazione di n. 3 Unità Geotecniche, le quali si differenziano poiché si alterna il componente principale. Nella fattispecie tale caratteristica è afferente alla natura dell'assetto stratigrafico, in quanto si tratta di depositi fluviolacustri dell'unità Geologica Sintema di Cantù. In merito alla distribuzione granulometrica, possiamo definire una natura incoerente per i depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose (UG1) e per i depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa (UG2). Invece per i depositi limosi con sabbia e argilla si riscontra una natura prevalentemente coesiva.

La variabilità composizionale rende comparabili le caratteristiche geomeccaniche per quanto attiene le unità geotecniche UG1 e UG2, le differenze riscontrate nella parametrizzazione geotecnica sono da imputare a variazioni nella componente limo-argillosa ed al grado di addensamento del deposito.

Pertanto si riscontra quanto segue:

Peso di volume naturale Y_n (KN/m³) UG1 = da 18,3 a 20,9

Peso di volume naturale Y_n (KN/m³) UG2 = da 20,2 a 21,6

Coesione (KPa) UG1 = 0,7 – 2,2

Coesione (KPa) UG2 = 0,3 – 0,4

Angolo di Attrito interno (°) UG1 = 30,3 – 31,6

Angolo di Attrito interno (°) UG2 = 31,5 – 31,9

Per l'UG3, vista la composizione granulometrica e la natura coesiva, si riscontrano parametri che si discostano da quanto registrato nelle altre unità geotecniche, e si ottiene quanto segue:

Peso di volume naturale Y_n (KN/m³) = da 18,3 a 18,8

Cd (KPa) = da 19 a 31,5

ϕ_d (°) = da 24,6 a 25

Modello geologico - caratteristiche idrogeologiche

PIEZOMETRIA LOCALE

Al fine di definire la quota piezometrica nei fori dei sondaggi S1 ed S3 è stata installato un piezometro, il conseguente monitoraggio è stato condotto nelle immediatezze della perforazione e nei mesi successivi. Di seguito si riportano nel dettaglio i dati delle rilevazioni.

Piezometro	1 misurazione	2 misurazione	3 misurazione	4 misurazione
S1	Data: 10/03/2019	Data: 12/03/2019	Data: 25/05/2019	Data: 20/07/2019
	Quota Falda: 5,27 m	Quota Falda: 5,28 m	Quota Falda: 5,44 m	Quota Falda: 5,73 m
S3	Data: 11/03/2019	Data: 12/03/2019	Data: 25/05/2019	Data: 20/07/2019
	Quota Falda: 5,34 m	Quota Falda: 5,51 m	Quota Falda: 5,65 m	Quota Falda: 5,90 m

Da quanto si evince dal monitoraggio piezometrico eseguito tra Marzo e Luglio 2019, si evince un escursione della quota di falda variabile tra 5,27 e 5,90 m. Tale dato è in linea con quanto riportato nella Figura 3 (Stralcio della Tavola Cartografica – Caratteri Idrogeologici – PGT Comune di Segrate) e Figura 6 (Stralcio della Tavola Cartografica – Sintesi degli elementi conoscitivi – PGT del Comune di Segrate) da cui si evince una quota di soggiacenza della falda che per l’area di interesse corrisponde a 6 m dal piano campagna. Inoltre, per approfondire tale livello di conoscenza, si è proceduto a reperire informazioni su dati piezometrici di pozzi presenti in aree limitrofi, tale fase di studio è stata espletata mediante la consultazione del Sistema informativo ambientale della Regione Lombardia – area tematica pozzi e piezometri. Sebbene nel portale sono riportate tutte le stratigrafie dei pozzi, soltanto in alcuni casi i dati sono approfonditi con i valori storici del monitoraggio piezometrico, tuttavia si è riusciti ad individuare il pozzo avente codice 0152050003 per il quale sono forniti dati che coprono un arco temporale che varia tra gli anni 1977 e 1998. Questa variabilità del dato storico garantisce un buon dato di confronto poiché significativa di un monitoraggio ventennale, inoltre validità del dato è da attribuire alla distanza del pozzo in questione rispetto all’area di interesse, la quale è stimata in alcune centinaia di metri (vedi Figura 10).

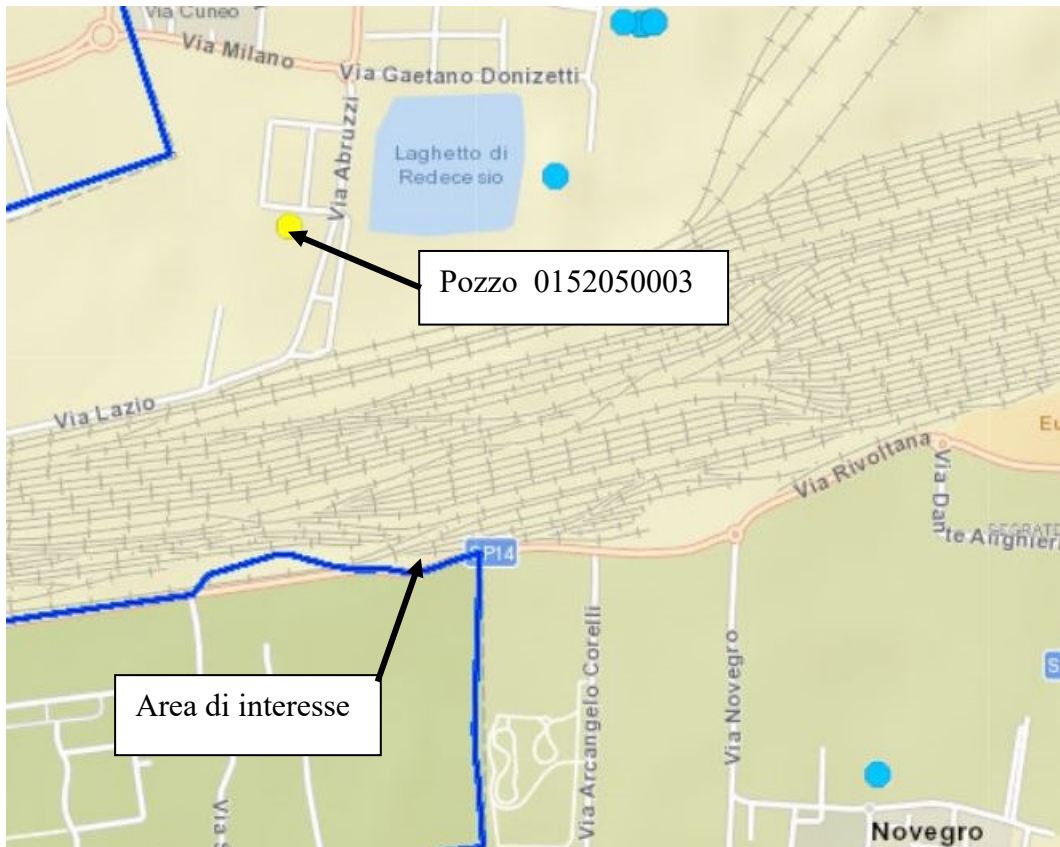


Fig. 11: Ubicazione Pozzo 0152050003

Di seguito si riportano i dati storici del monitoraggio piezometrico del pozzo 0152050003.

Data misura	Soggiacenza (m)	Piezometria (mslm)
01/04/1998	9,05	105,13
01/03/1998	9,05	105,13
01/02/1998	8,75	105,43
01/01/1998	8,55	105,63
01/12/1997	9,05	105,13
01/11/1997	9,05	105,13
01/10/1997	8,9	105,28
01/09/1997	8,35	105,83
01/08/1997	8,35	105,83
01/07/1997	8,85	105,33
01/06/1997	9,15	105,03
01/05/1997	9,15	105,03
01/04/1997	9,35	104,83
01/03/1997	8,95	105,23
01/02/1997	8,5	105,68
01/01/1997	8,65	105,53
01/11/1996	8,85	105,33

01/10/1996	9,15	105,03
01/09/1996	8,55	105,63
01/08/1996	9,65	104,53
01/07/1996	10,25	103,93
01/06/1996	10,75	103,43
01/05/1996	10,05	104,13
01/04/1996	9,35	104,83
01/03/1996	9,35	104,83
01/02/1996	9,35	104,83
01/01/1996	9,65	104,53
01/12/1995	9,85	104,33
01/11/1995	9,95	104,23
01/10/1995	10,05	104,13
01/09/1995	9,55	104,63
01/08/1995	10,15	104,03
01/07/1995	10,75	103,43
01/06/1995	10,35	103,83
01/05/1995	10,55	103,63
01/04/1995	10,15	104,03
01/03/1995	9,75	104,43
01/02/1995	9,5	104,68
01/01/1995	9,35	104,83
01/12/1994	9,9	104,28
01/11/1994	9,75	104,43
01/10/1994	9,45	104,73
01/09/1994	10,55	103,63
01/07/1994	11,15	103,03
01/06/1994	11,25	102,93
01/05/1994	10,65	103,53
01/04/1994	10,05	104,13
01/03/1994	9,75	104,43
01/02/1994	9,6	104,58
01/01/1994	9,95	104,23
01/12/1993	10,75	103,43
01/11/1993	10,25	103,93
01/10/1993	10,85	103,33
01/09/1993	11,55	102,63
01/08/1993	11,95	102,23
01/07/1993	12,15	102,03
01/06/1993	12,35	101,83
01/05/1993	12,25	101,93
01/04/1993	11,75	102,43

01/03/1993	11,35	102,83
01/02/1993	11,15	103,03
01/01/1993	10,95	103,23
01/12/1992	11,05	103,13
01/11/1992	11,35	102,83
01/10/1992	11,55	102,63
01/09/1992	11,25	102,93
01/08/1992	12,05	102,13
01/07/1992	13,25	100,93
01/06/1992	13,7	100,48
01/05/1992	13,35	100,83
01/04/1992	12,85	101,33
01/03/1992	12,25	101,93
01/02/1992	13,05	101,13
01/01/1992	13,05	101,13
01/12/1991	12,95	101,23
01/11/1991	12,75	101,43
01/10/1991	12,55	101,63
01/09/1991	12,75	101,43
01/08/1991	12,65	101,53
01/07/1991	13,45	100,73
01/06/1991	13,55	100,63
01/05/1991	13,05	101,13
01/04/1991	12,45	101,73
01/03/1991	12,95	101,23
01/02/1991	12,75	101,43
01/01/1991	12,35	101,83
01/12/1990	12,75	101,43
01/11/1990	12,45	101,73
01/10/1990	11,65	102,53
01/09/1990	11,95	102,23
01/08/1990	11,8	102,38
01/07/1990	12,05	102,13
01/06/1990	12,35	101,83
01/05/1990	12,45	101,73
01/04/1990	12,95	101,23
01/03/1990	12,8	101,38
01/02/1990	12,5	101,68
01/01/1990	12,35	101,83
01/12/1989	12,75	101,43
01/11/1989	11,8	102,38
01/10/1989	11,2	102,98

01/09/1989	11,95	102,23
01/08/1989	12,35	101,83
01/07/1989	12,95	101,23
01/06/1989	12,55	101,63
01/05/1989	12,35	101,83
01/04/1989	12,05	102,13
01/03/1989	11,75	102,43
01/02/1989	11,75	102,43
01/01/1989	11,45	102,73
01/12/1988	12,25	101,93
01/11/1988	11,95	102,23
01/10/1988	11,75	102,43
01/09/1988	11,55	102,63
01/08/1988	11,25	102,93
01/07/1988	12,55	101,63
01/06/1988	12,55	101,63
01/05/1988	12,35	101,83
01/04/1988	11,45	102,73
01/03/1988	10,95	103,23
01/02/1988	11,35	102,83
01/01/1988	11,35	102,83
01/12/1987	11,75	102,43
01/11/1987	11,35	102,83
01/10/1987	11,05	103,13
01/09/1987	10,55	103,63
01/08/1987	11,35	102,83
01/07/1987	12,25	101,93
01/06/1987	11,95	102,23
01/05/1987	11,85	102,33
01/04/1987	11,75	102,43
01/03/1987	11,35	102,83
01/02/1987	11,9	102,28
01/01/1987	11,35	102,83
01/12/1986	11,65	102,53
01/11/1986	11,35	102,83
01/10/1986	10,95	103,23
01/09/1986	10,85	103,33
01/08/1986	10,65	103,53
01/07/1986	11,85	102,33
01/06/1986	10,55	103,63
01/05/1986	10,05	104,13
01/04/1986	9,85	104,33

01/03/1986	9,65	104,53
01/02/1986	10,95	103,23
01/01/1986	10,65	103,53
01/12/1985	10,55	103,63
01/11/1985	12,25	101,93
01/10/1985	11,85	102,33
01/09/1985	11,35	102,83
01/08/1985	12,05	102,13
01/07/1985	12,35	101,83
01/06/1985	12,35	101,83
01/05/1985	11,35	102,83
01/04/1985	10,95	103,23
01/03/1985	11,05	103,13
01/02/1985	11,25	102,93
01/01/1985	10,95	103,23
01/12/1984	11,35	102,83
01/11/1984	11,05	103,13
01/10/1984	10,45	103,73
01/09/1984	11,15	103,03
01/08/1984	10,65	103,53
01/07/1984	11,95	102,23
01/06/1984	11,35	102,83
01/05/1984	11,75	102,43
01/04/1984	11,95	102,23
01/03/1984	11,55	102,63
01/02/1984	11,05	103,13
01/01/1984	10,45	103,73
01/12/1983	11,35	102,83
01/11/1983	11,35	102,83
01/10/1983	11,45	102,73
01/09/1983	11,15	103,03
01/08/1983	11,65	102,53
01/07/1983	12,15	102,03
01/06/1983	11,85	102,33
01/05/1983	11,65	102,53
01/04/1983	11,15	103,03
01/03/1983	10,85	103,33
01/02/1983	10,55	103,63
01/01/1983	9,95	104,23
01/12/1982	10,35	103,83
01/11/1982	10,75	103,43
01/10/1982	11,15	103,03

01/09/1982	10,55	103,63
01/08/1982	10,95	103,23
01/07/1982	12,05	102,13
01/06/1982	12,05	102,13
01/05/1982	11,75	102,43
01/04/1982	11,05	103,13
01/03/1982	10,35	103,83
01/02/1982	10,05	104,13
01/01/1982	10,45	103,73
01/12/1981	10,95	103,23
01/11/1981	10,65	103,53
01/10/1981	10,35	103,83
01/09/1981	10,45	103,73
01/08/1981	11,45	102,73
01/07/1981	12,35	101,83
01/06/1981	12,15	102,03
01/05/1981	11,35	102,83
01/04/1981	10,75	103,43
01/03/1981	10,45	103,73
01/02/1981	10,15	104,03
01/01/1981	9,85	104,33
01/12/1980	10,15	104,03
01/11/1980	9,35	104,83
01/10/1980	9,85	104,33
01/09/1980	9,75	104,43
01/08/1980	10,1	104,08
01/07/1980	10,4	103,78
01/06/1980	9,85	104,33
01/05/1980	10,25	103,93
01/04/1980	9,95	104,23
01/03/1980	9,55	104,63
01/02/1980	8,85	105,33
01/01/1980	8,85	105,33
01/12/1979	9	105,18
01/11/1979	8,7	105,48
01/10/1979	10,35	103,83
01/08/1979	9,35	104,83
01/07/1979	10,25	103,93
01/06/1979	11,05	103,13
01/05/1979	11,15	103,03
01/04/1979	11,6	102,58
01/03/1979	10,55	103,63

01/01/1979	10,15	104,03
01/12/1978	9,85	104,33
01/11/1978	10,3	103,88
01/10/1978	10,2	103,98
01/09/1978	9,85	104,33
01/08/1978	9,75	104,43
01/07/1978	11,1	103,08
01/06/1978	11,35	102,83
01/05/1978	11,45	102,73
01/04/1978	10,75	103,43
01/03/1978	10,35	103,83
01/02/1978	10,05	104,13
01/01/1978	10,2	103,98
01/12/1977	10,65	103,53
01/11/1977	10,05	104,13
01/10/1977	9,65	104,53
01/09/1977	8,85	105,33
01/08/1977	10,15	104,03
01/07/1977	11,85	102,33
01/06/1977	11,9	102,28
01/05/1977	12	102,18
01/04/1977	11,65	102,53
01/03/1977	11,5	102,68
01/02/1977	10,95	103,23
01/01/1977	11,55	102,63

L'analisi di tali dati fornisce utili indicazioni per definire il trend piezometrico, in particolare risulta che la falda in questione abbia avuto varie oscillazioni di quota, evidenziando periodi caratterizzati da abbassamenti ai quali si intervallano innalzamenti. Tuttavia se a tale condizione compariamo il dato piezometrico relativo all'area di interesse, si può affermare che attualmente la quota piezometrica si trova in una fase di innalzamento verso il piano campagna. Le fluttuazioni storiche indicano che intorno al 1992 si sono toccate le punte massime del decremento della quota piezometrica valore di 13,7 m (01/06/1992), inoltre tale valore discrimina l'arresto di tale trend. Infatti a partire da tale data si ha un lento ma inesorabile innalzamento della quota piezometrica, che indica per gli anni 1997 – 1998 un livello che oscilla tra 8 e 9 m di profondità. Le attuali rilevazioni che pongono il livello di falda tra 5,27 e 5,90 m, se confrontate con i dati storici evidenziano la persistenza del trend di innalzamento della quota piezometrica.

PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO DI TIPO LEFRANC

La prova di permeabilità in foro nei terreni (prova Lefranc) permette di determinare la permeabilità di terreni al fondo di fori di sondaggio al di sopra o al di sotto del livello della falda eventualmente presente. La prova è destinata a misurare la conducibilità idrica del terreno; a seconda della geometria realizzata in corrispondenza del tratto di foro prescelto e quindi della direzione del flusso che si instaura durante la prova, la permeabilità misurata sarà quella orizzontale (K_h), quella verticale (K_v) o una media tra le due ($K_h * K_v$). Si esegue misurando gli assorbimenti di acqua, facendo filtrare quest'ultima attraverso un tratto di foro predeterminato. È una prova di permeabilità da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione nei terreni non rocciosi, sotto falda o fuori falda, in quest'ultimo caso dopo aver saturato con acqua il terreno. Nel caso di terreni a conducibilità non elevata si esegue a carico idraulico variabile, mentre nel caso di una elevata conducibilità a carico idraulico costante. Per l'esecuzione della prova è necessario che le pareti del foro siano rivestite con tubo di rivestimento per tutto il tratto non interessato alla prova.

- Dettaglio delle prove Lefranc eseguite:

Sondaggio	Prova	Coefficiente di permeabilità K (cm/s)	Unità Geotecnica
S1	P1 – prof. 5 m	$2,20 \times 10^{-2}$	UG2
S1	P2 – prof. 21 m	$2,49 \times 10^{-2}$	UG2
S2	P1 – prof. 6 m	$3,88 \times 10^{-3}$	UG1
S2	P2 – prof. 15 m	$8,59 \times 10^{-3}$	UG2
S3	P1 – prof. 6 m	$3,59 \times 10^{-3}$	UG1
S3	P2 – prof. 21 m	$9,45 \times 10^{-3}$	UG1
S4	P1 – prof. 6 m	$1,02 \times 10^{-2}$	UG2
S4	P2 – prof. 21 m	$1,04 \times 10^{-2}$	UG1
S5	P1 – prof. 5 m	$1,75 \times 10^{-2}$	UG2
S6	P1 – prof. 6 m	$1,46 \times 10^{-2}$	UG1

In base ai dati riportati in tabella, si evince che l'UG2 (**depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa**) presenta un grado di permeabilità maggiore rispetto all'UG1 (**depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose**). Tale differenza è da ricondurre alle caratteristiche granulometriche ed alla presenza di livelli maggiormente limosi.

PROVA DI PORTATA

Le prove di portata consistono essenzialmente nell'emungimento di acqua all'interno di un pozzo (pozzo attivo) e nella determinazione della variazione del livello di falda all'interno sia del pozzo di emungimento sia di pozzi o piezometri di controllo situati all'intorno. Le prove possono essere effettuate generalmente a portata costante oppure a gradini (solitamente quando la prova è eseguita su pozzo singolo). In ogni tubazione (sia il pozzo attivo sia i piezometri di controllo) sono inseriti dei trasduttori di pressione per la misura del livello. La portata è invece misurata attraverso un misuratore digitale posto a monte della pompa installata nel pozzo di emungimento. I misuratori di livello e il misuratore di portata sono collegati ad un data logger per la lettura in modalità automatica che permette di memorizzare i dati e visualizzare in tempo reale l'andamento della prova.

Applicazioni:

La prove possono essere eseguite con la seguente finalità: determinazione parametri idrogeologici dell'acquifero.

Di seguito si riportano i dettagli della prova di portata eseguita:

Sondaggio S1

- Profondità prova = 5 m (UG2)
- Portata di prelievo costante a 78 l/m
- 5 step di misurazioni degli abbassamenti del livello idrico:
 - 1) 0 s 2) 60 s 3) 270 s 4) 480 s 5) 600 s
- Livello statico 5 m
- Livello dinamico 5,37
- Coefficiente di permeabilità K (cm/s) = $1,622 \times 10^{-2}$

Il dato ottenuto relativamente al coefficiente di permeabilità è comparabile a quello rilevato con la prova Lefranc nel sondaggio S1 alla profondità di 5 m.

SLUG TEST

Si definisce *slug test* una prova eseguita in maniera da produrre una istantanea variazione del livello statico in un pozzo, in piezometro e misurare, in funzione del tempo, il conseguente recupero del livello originario. Si tratta, perciò, di una prova a pozzo singolo, eseguita in regime transitorio, la cui finalità consiste nella determinazione della **conducibilità idraulica dell'acquifero** nelle immediate vicinanze del pozzo attivo. La prova può essere eseguita nelle due seguenti modalità:

test in declino o con carico decrescente, aumentando bruscamente il livello statico misurato nel pozzo attivo e monitorando il conseguente declino di livello che si crea per il flusso dal pozzo verso l'acquifero;

test in risalita o con carico crescente, producendo una brusca diminuzione di livello e monitorando la conseguente risalita che si crea per il flusso dall'acquifero verso il pozzo.

La seconda modalità è la più utilizzata in relazione alla sua maggiore semplicità operativa ed alla maggiore affidabilità del risultato soprattutto in presenza di piezometri finestrati al di sopra della tavola d'acqua.

Le variazioni di livello all'interno del punto in cui si intende eseguire la prova possono essere generate mediante l'introduzione e la rimozione di volumi noti di acqua; oppure meccanicamente mediante l'introduzione ed il recupero di cilindri metallici di volume noto; oppure pneumaticamente mediante l'utilizzo di aria compressa.

Di seguito si riportano i dettagli della prova di portata eseguita:

Sondaggio S3

- Profondità prova = 24 m (UG2)

- 4 step di misurazioni degli abbassamenti del livello idrico:

- 1) 15 s Abbassamento 0,1 m
- 2) 30 s Abbassamento 0,01 m
- 3) 45 s Abbassamento 0 m
- 4) 60 s Abbassamento 0 m

- Coefficiente di permeabilità K (cm/s) = $1,739 \times 10^{-3}$

Il dato ottenuto relativamente al coefficiente di permeabilità presenta ordini di grandezza comparabili alle prove Lefranc eseguite nel sondaggio S3 ma afferenti all'UG1. Pertanto si evince che lungo tale verticale si riscontrano condizioni locali in cui il grado di permeabilità dell'UG2 subisce un decremento.

Modello geologico - caratteristiche sismiche

Le prospezioni geofisiche hanno riguardato la valutazione della velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali e trasversali, e quindi la ricostruzione del modello sismico, dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area e dell'edificio oggetto dell'intervento di riqualificazione urbana.

Si è anche provveduto a definire le velocità VS30 e Vseq secondo quanto previsto dalle norme NTC 2018 (DM 17.01.2018).

Lungo la superficie dell'area oggetto di studio sono state realizzate:

- n. 1 indagine sismica in foro del tipo “Down Hole”, presso il foro del sondaggio geognostico S2, appositamente predisposto dalla soc. Trivel Sondaggi srl, fino alla profondità di 45 m dal p.c.;
- n. 1 prospezione sismica superficiale attiva del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), basata sulla misurazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato;
- n. 1 indagine puntuale di sismica passiva a stazione singola (metodo HVSR – rapporto tra la componenti spettrali orizzontali H e verticali V), in interpretazione congiunta con l'indagine MASW;
- n. 2 profili di sismica a rifrazione onde P (Vp);

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati delle indagini sismiche sopra elencate è da tenere presente che dette prospezioni sono state realizzate in condizioni di elevata rumorosità di fondo per ovvie questioni logistiche, essendo il sito immediatamente confinato tra la articolata rete ferroviaria a Nord che porta al “Terminale Intermodale Milano Smistamento” e la trafficata Strada “Via Rivoltana” a Sud, con inoltre presenza nel sottosuolo del sito di locali tecnici interrati e/o seminterrati (in particolare lungo il profilo SR1, lato Nord) e di riporti – canale reflui superficiali (a ridosso della strada, lato Sud).

- Down Hole

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio.

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono:

- 1) una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- 2) uno o più geofoni tridimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- 3) un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- 4) un trasduttore (trigger) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

Durante la perforazione, per ridurre l'effetto di disturbo nel terreno, i fori vengono sostenuti mediante fanghi bentonici e il loro diametro viene mantenuto piuttosto piccolo (mediamente $\varnothing \approx 15$ cm). I fori vengono poi rivestiti mediante tubazioni, generalmente in PVC, e riempiti con una malta a ritiro controllato, generalmente composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Prima di ogni cosa è però importante assicurarsi che il foro sia libero da strozzature e che il tubo di rivestimento non presenti lesioni.

Nel ns. caso il geofono da foro utilizzato è un “doppio coniugato”, ovvero composto da 2 ricevitori triassiali, coniugati e posti ad una distanza tra loro di 1 m. Il sismografo è uno strumento PASI 16S24-U a 24 canali; la sorgente energizzante è costituita da una mazza di battuta da 10 kg e da una piastra di alluminio.

Interpretazione dei dati acquisiti

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
2	23	1	2

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1,00	4,1	8,2
2	3,00	7,7	10,1
3	5,00	10,2	20,2
4	7,00	12	25,2
5	9,00	14	32,3
6	11,00	15	36,1
7	13,00	15,3	38,2
8	15,00	16,6	44,3
9	17,00	16,8	48,1
10	19,00	17,6	50
11	21,00	18,2	57,2
12	23,00	19,5	58,6
13	25,00	21	61,3
14	27,00	22	64,9
15	29,00	22,5	68,3
16	31,00	24	72,8
17	33,00	24,5	77,2
18	35,00	24,9	82,5
19	37,00	26,7	84,5
20	39,00	28,2	86,9
21	41,00	29,8	92,5
22	43,00	30,1	95,4
23	45,00	30,4	96,4

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
2,2361	1,8336	3,6672
3,6056	6,4068	8,4037
5,3852	9,4705	18,7552
7,2801	11,5383	24,2304
9,2195	13,6666	31,5308
11,1803	14,7581	35,5177
13,1530	15,1221	37,7558
15,1328	16,4544	43,9114
17,1172	16,6849	47,7705
19,1050	17,5033	49,7253
21,0950	18,1180	56,9423
23,0868	19,4267	58,3797
25,0799	20,9331	61,1048
27,0740	21,9399	64,7227
29,0689	22,4467	68,1382
31,0645	23,9502	72,6490
33,0606	24,4551	77,0586
35,0571	24,8595	82,3656
37,0540	26,6611	84,3768
39,0513	28,1630	86,7860
41,0488	29,7646	92,3901
43,0465	30,0675	95,2970
45,0444	30,3700	96,3049

Vp [m/s]	Vs [m/s]	g [kN/mc]	ni	G [MPa]	Ed [MPa]	E [MPa]	Ev [MPa]
545,38	272,69	22,30	0,3333	169,09	676,37	450,90	450,91
437,33	422,25	21,94	--	398,89	427,89	797,78	--
652,81	193,21	18,49	0,452	70,38	803,51	204,38	709,66
967,21	365,28	20,52	0,4168	279,20	1957,48	791,14	1585,22
939,72	273,96	19,22	0,4536	147,10	1730,73	427,65	1534,60
1832,34	501,64	21,22	0,4595	544,51	7265,02	1589,43	6539,00
5494,50	893,62	23,15	0,4864	1885,11	71266,70	5604,06	68753,23
1501,16	324,91	19,43	0,4754	209,16	4464,84	617,19	4185,96
8676,75	518,26	21,02	0,4982	575,71	161371,30	1725,06	160603,70
2443,79	1023,12	23,61	0,3937	2520,16	14378,15	7024,69	11017,94
3253,62	277,12	18,55	0,4963	145,26	20024,28	434,71	19830,60
1528,23	1391,40	24,66	--	4868,29	5872,86	9736,58	--
1327,67	733,92	21,88	0,28	1201,78	3932,85	3076,56	2330,48
1986,49	552,81	20,94	0,458	652,54	8426,14	1902,81	7556,09
3946,33	585,57	21,09	0,4887	737,42	33492,13	2195,59	32508,90
1330,23	443,38	20,08	0,4375	402,53	3623,24	1157,27	3086,53
3961,18	453,56	20,12	0,4934	422,06	32192,63	1260,61	31629,88
4945,58	376,86	19,39	0,4971	280,81	48360,59	840,80	47986,18
1110,13	994,43	23,52	--	2371,73	2955,73	4743,46	--
1331,65	830,15	22,90	0,1822	1609,27	4140,90	3804,96	1995,21
1248,75	356,88	19,08	0,4555	247,80	3033,95	721,35	2703,55
6602,87	688,02	21,40	0,4945	1032,99	95139,00	3087,61	93761,68
6611,53	1984,32	25,87	0,4505	10387,22	115313,40	30133,32	101463,80

Metodo diretto (elaborazione/interpretazione con ausilio del software *Geostru Downhole*)

Profondità di riferimento: 0 - 45 m (dal piano campagna)
VS,eq: 467,2 m/s

Profondità di riferimento: 15 - 45 m (dalla prof. di fondazione – scavo in progetto)
VS,eq: 561,79 m/s

Sismostrati con metodo diretto

Descrizione [-]	Profondità [m]
Sabbia limosa	3,19
Sabbia ghiaiosa	8,89
Ghiaia sabbiosa	35,93
Limo sabbioso-argilloso	44,98

Valori medi

Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/mc]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
476,12	339,72	20,82	--	245,05	481,33	--	154,59
832,12	262,19	19,34	0,44	135,59	1365,73	391,82	1184,94
2225,51	518,31	20,7	0,47	567,07	10454,97	1668,68	9698,89
1937,9	696,69	22,27	0,43	1102,23	8528,16	3143,08	7058,53

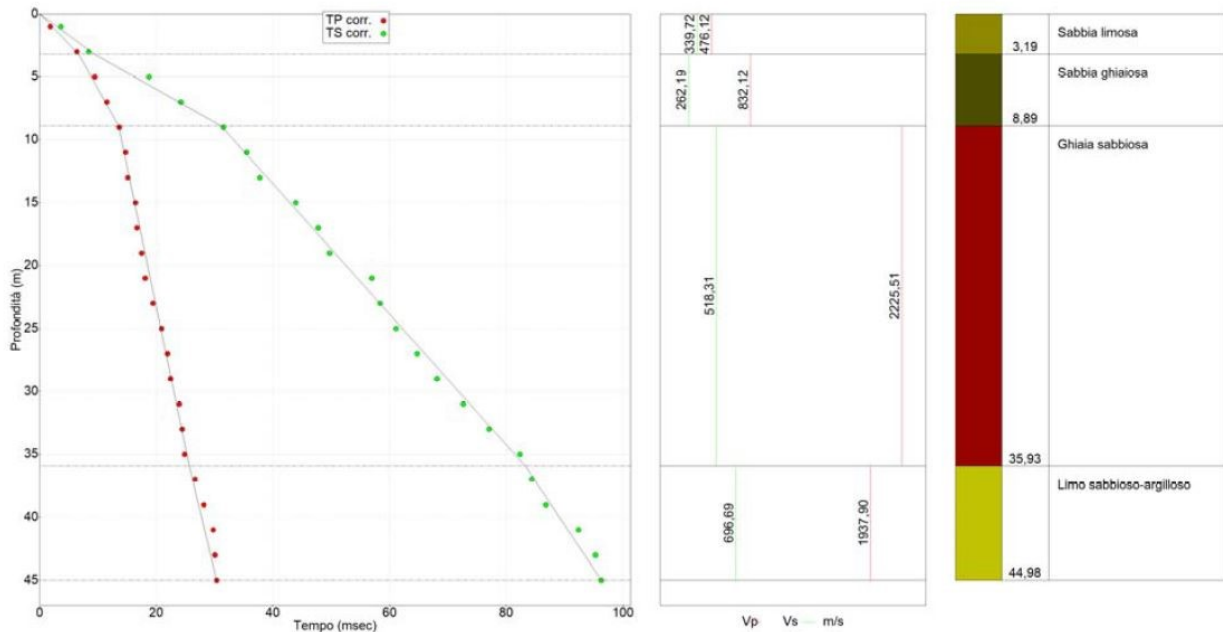


Fig. 12: Dromocrone

Metodo intervallo

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei tempi dei primi arrivi delle onde P ed S con il *metodo intervallo* si è utilizzato ancora il software Downhole della Geostru.

Profondità di riferimento: 0 - 45 m (dal piano campagna)
Vs,eq: 533.22 m/s

Profondità di riferimento: 15 - 45 m (dalla prof. di fondazione – scavo in progetto)
Vs,eq: 674.65 m/s

Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione [-]	Profondità [m]
Sabbia limosa	9
Sabbia ghiaiosa	15
Ghiaia	27
Sabbia ghiaiosa	35
Ghiaia sabbiosa	41
Limo sabbioso-argilloso	45

Valori medi

Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/m ³]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
708,49	305,48	20,49	0,41	212,93	1119,20	534,37	1070,10
2942,67	573,39	21,27	0,47	879,59	27665,52	2603,56	26492,73
3202,76	749,44	21,78	0,43	1660,62	35667,60	3983,40	40267,76
3545,83	464,84	20,17	0,48	460,71	29417,15	1363,57	28802,87
1230,18	727,15	21,83	0,32	1409,60	3376,86	3089,92	2349,38
6607,20	1336,17	23,64	0,47	5710,10	105226,20	16610,46	97612,74

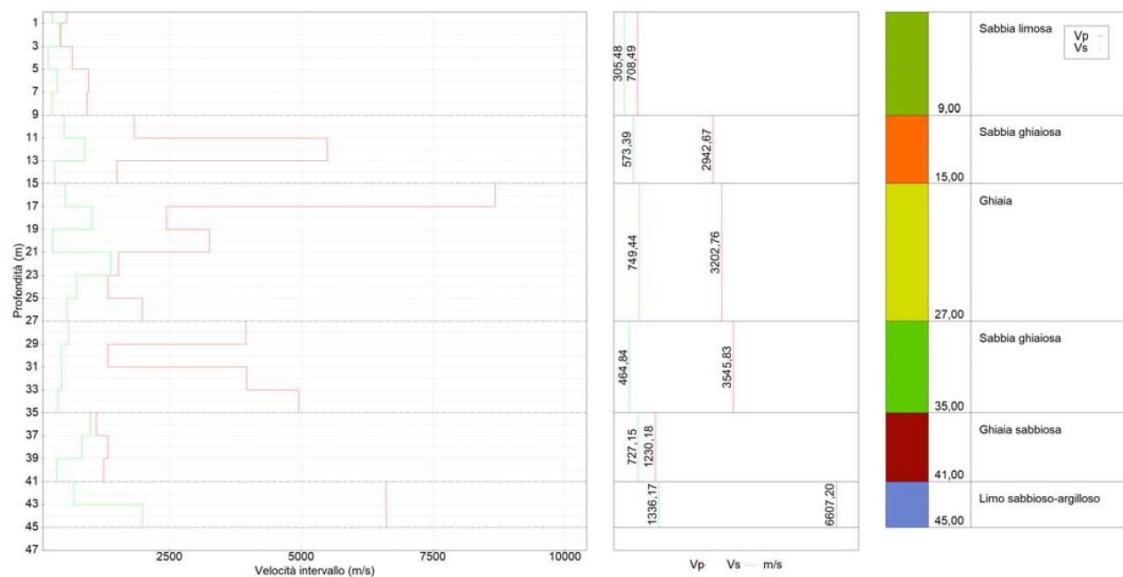


Fig. 13: Profilo di velocità

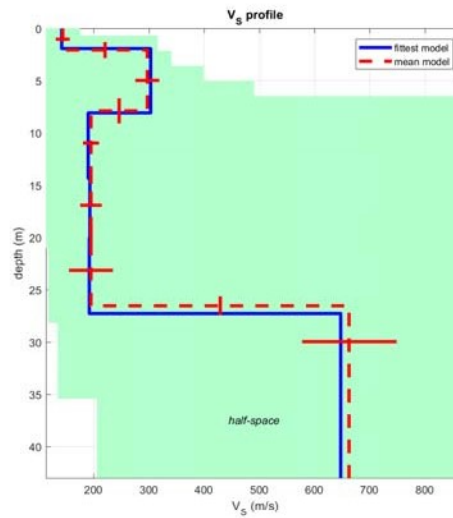
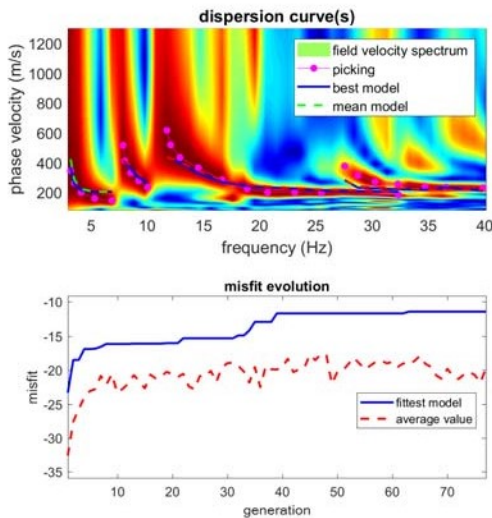
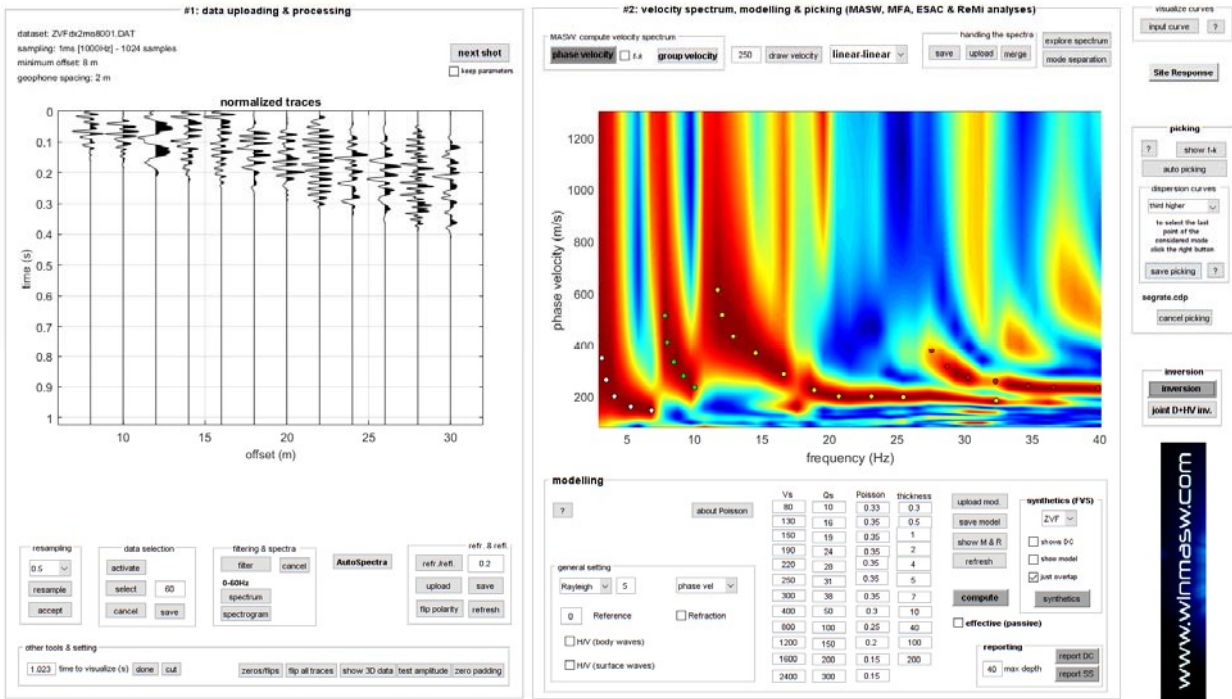
Dalle elaborazioni dei risultati della Down Hole (DH-S2) risultano quindi valori di V_{seq} (V_{s30}) quasi analoghi: le acquisizioni hanno prodotto dati sismici tali da poter attribuire la categoria B ai suoli di fondazione (DM 17/01/2018).

- MASW

La prospezione di tipo MASW è un'indagine di superficie non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità V_s delle onde di taglio basandosi sulla misura ed analisi dei tempi di arrivo delle onde superficiali (Rayleigh) fatta in corrispondenza di diversi geofoni posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive: le diverse lunghezze d'onda che le costituiscono si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, ovvero sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza. Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo del sismografo PASI 16S24-U a 24 canali, idoneo per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione, sismica in foro) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves) – ESAC (Extended Spatial AutoCorrelation) – Re.MI]. Le indagini sismiche di tipo M.A.S.W. risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise). La gestione dell'apparecchiatura e delle acquisizioni è agevolata dall'interfaccia grafica garantita dal software "Usb-seismograph" e da "pc-link" per lo scarico dati. La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 10 kg che batte su una piastra in alluminio resa solidale con il suolo). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 10Hz, posto in prossimità della piastra. La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

- Sismografo a 24 canali, con interfaccia USB 2.0 per scarico dati a PC esterno
- massa battente pesante di 10 Kg.
- 12 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz, con interspazio (G_x) di 2 m;
- n. 2 energizzazioni ad offset (S_x): 6 m, 8 m;
- campionamento a 1 millisecondi (ms)
- durata registrazione estesa fino a 1 sec

- Interpretazione dei dati acquisiti



dataset: ZVf dx2mo8001.DAT
 dispersion curve: segregate.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 217 217 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 222 222 m/s

Fig. 14: Elaborazione ed interpretazione MASW

I dati elaborati per la sola MASW hanno prodotto come risultato, a partire dal piano campagna, un valore di V_{seq} (V_{s30}) pari a 222 m/sec.

Ovviamente si tratta di un valore della V_{seq} estremamente basso, presuntivamente connesso alla specifica costituzione del sottosuolo dell'area presso cui è stato possibile realizzare l'indagine superficiale, ovvero immediatamente a Sud dell'edificio lungo una striscia di terreno con abbondante riporto in superficie e vuoti e/o terreni allentati connessi ad un canale di scolo di acque superficiali che corre parallelo all'edificio ed alla strada.

Tali dati sono tra l'altro riferiti al piano campagna e comunque in disaccordo con gli esiti dell'indagine Down-Hole.

Per tale motivo si è optato per realizzare una elaborazione ed analisi interpretativa combinata tra MASW e prospezione HVSR, con l'utilizzo di apposito modulo di WinMasw Academy.

- HVSR

La realizzazione di indagini sismiche passive del tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Metodo Nakamura) consente di determinare:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento antisismico. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "doppia risonanza", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni;
- 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 costruzione potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella curva H/V. È possibile calcolare la V_{seq} e la relativa categoria del suolo di fondazione come richiesto dalle NTC 2018 (DM 17 gennaio 2018);
- la stratigrafia del sottosuolo in un range di profondità compreso tra 0.5 e 700 m, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica HVSR, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle soprastanti e sottostanti per contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

L'indagine consiste nella registrazione con uno strumento detto "tromografo" del rumore sismico ambientale di fondo (microtremore). Si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno. Il tutto nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel sottosuolo in indagine. Le vibrazioni ambientali (rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze dell'ordine di 10^{-4} – 10^{-2} mm. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz.

L'impedenza dinamica (FID) delle sorgenti e la molteplicità dei percorsi delle onde da esse generate spiega la mancanza di regolarità nell'andamento temporale del campo del microtremore. Se da un lato il carattere stocastico del fenomeno presenta difficoltà di tipo teorico, dall'altro consente, mediante operazioni di tipo statistico, di ridurre la complessità dell'analisi. La tecnica, in origine proposta da Nogoshi e Igarashi (1971), in seguito diffusa da Nakamura (1989), consiste nella stima del rapporto fra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali e quello della componente verticale dei microtremori sismici ambientali registrati da una singola stazione.

Il calcolo del rapporto H/V segue queste fasi:

1. registrazione del segnale ambientale nelle 3 componenti;
2. scomposizione del segnale in finestre temporali, con l'obiettivo di isolare le parti della registrazione in cui il segnale risulta maggiormente stazionario ed eliminare i rumori transitori o transienti;
3. calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate su tutte e tre le componenti;
4. combinazione, con un'operazione di media, delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre selezionate;
5. calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
6. calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre, che rappresenterà la curva H/V definitiva.

- Interpretazione dei dati acquisiti

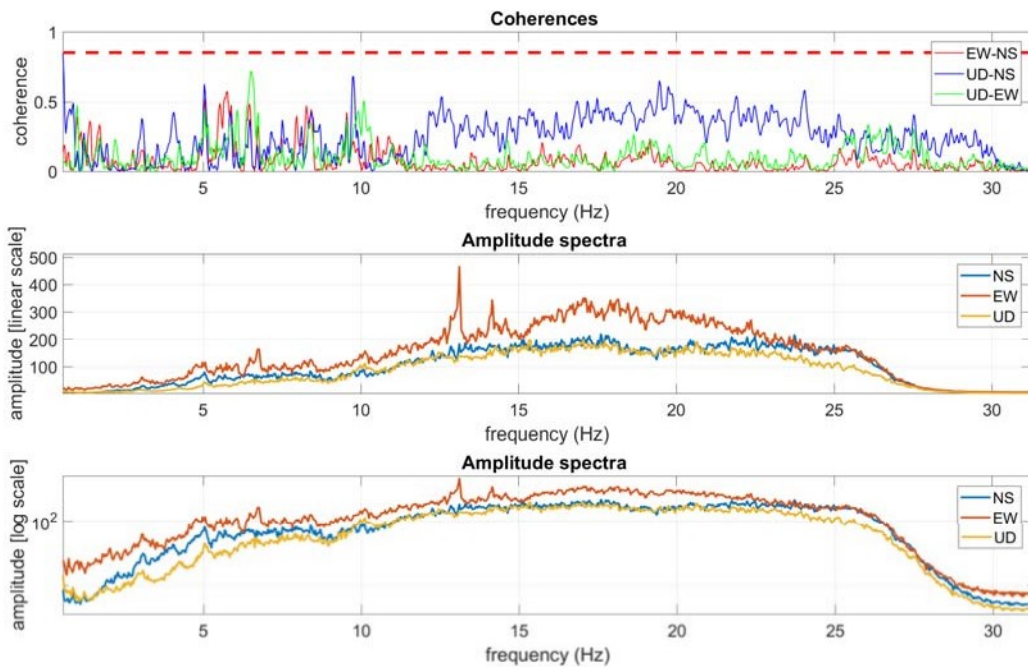
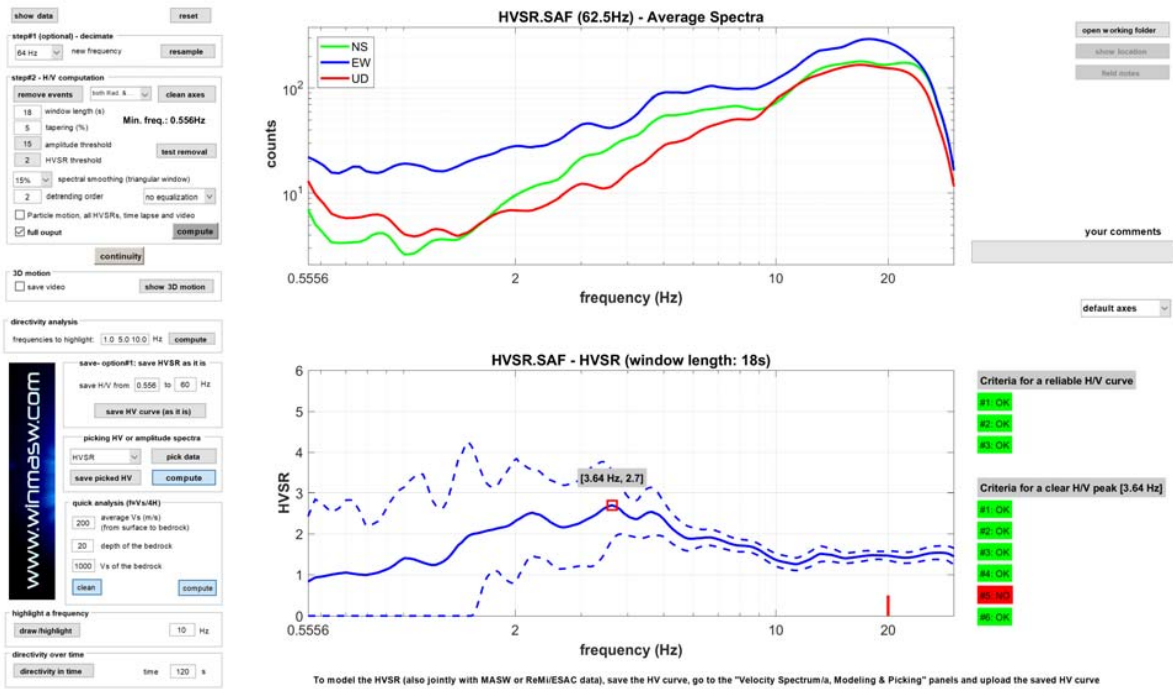


Fig. 15: Elaborazione ed interpretazione HVSR

- Interpretazione combinata MASW - HVSR

Per i motivi sopra descritti e come anticipato nei paragrafi precedenti, ai fini di una corretta interpretazione delle indagini sismiche realizzate e per meglio definire il modello sismico del sottosuolo di fondazione del sito, si è provveduto ad elaborare ed interpretare congiuntamente i dati MASW ed HVSR.

Il modello è stato computato con riferimento sia al piano campagna (0,00) che alla quota della fondazione in progetto (12 – 15 m dal p.c.):

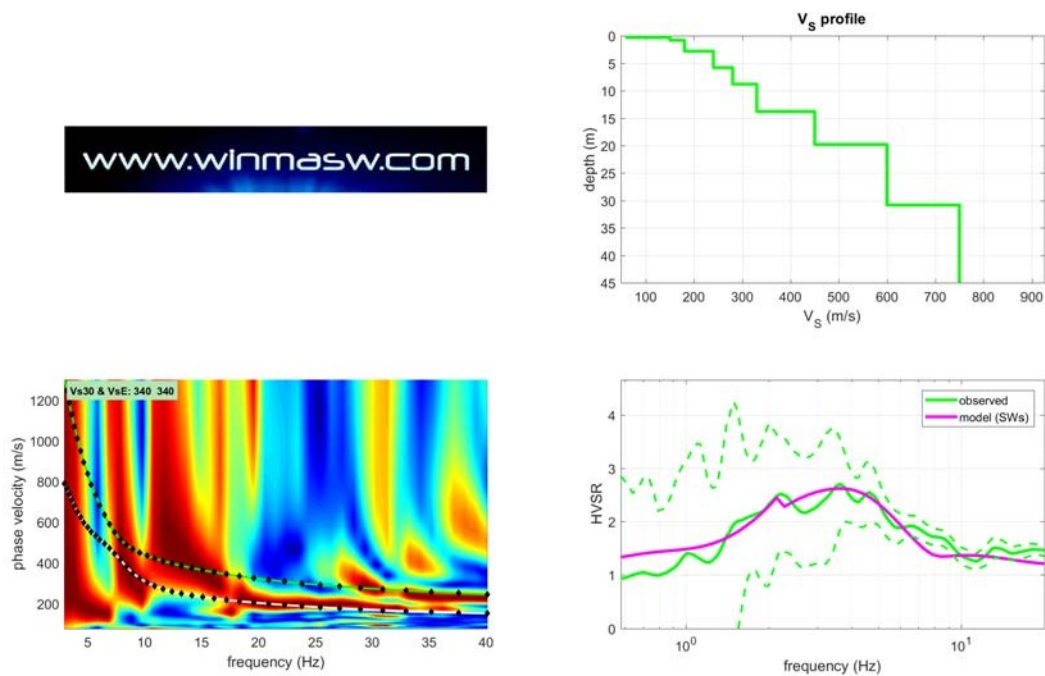


Fig. 16: Dataset

Mean model (rif. 0,00 - piano campagna):

Vs (m/s): 60, 150, 180, 240, 280, 330, 450, 600, 750, 1100, 1200, 1600

Thickness (m): 0.3, 0.5, 2.0, 3.0, 3.0, 5.0, 6.0, 11.0, 40.0, 100.0, 200.0

Vs model (Vs30 & VsE: 340 340 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	60	0.3000	0.3000
2	150	0.5000	0.8000
3	180	2	2.8000
4	240	3	5.8000
5	280	3	8.8000
6	330	5	13.8000
7	450	6	19.8000
8	600	11	30.8000
9	750	40	70.8000
10	1100	100	170.8000
11	1200	200	370.8000
12	1600	0	0

Density (gr/cm³) (approximate values):

1.54 1.77 1.82 1.89 1.92 1.96 2.04 2.08 2.12 2.20 2.21 2.28

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values):

6 40 59 109 151 214 413 749 1191 2657 3177 5827

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values):

0 0 0 0 0 0 0 0 0 1362 655

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 119 313 374 499 582 687 937 1122 1299 1796 1870 2493

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30 0.25 0.20 0.15 0.15

Vs30 and VsE (m/s): 340, 340

Mean model (rif. - 12,00 m dal piano campagna):

Vs (m/s): 60, 150, 180, 240, 280, 330, 450, 600, 750, 1100, 1200, 1600

Thickness (m): 0.3, 0.5, 2.0, 3.0, 3.0, 5.0, 6.0, 11.0, 40.0, 100.0, 200.0

Vs model (Vs30 & VsE at 12 m: 576 576 m/s

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	60	0.3000	0.3000
2	150	0.5000	0.8000
3	180	2	2.8000
4	240	3	5.8000
5	280	3	8.8000
6	330	5	13.8000
7	450	6	19.8000
8	600	11	30.8000
9	750	40	70.8000
10	1100	100	170.8000
11	1200	200	370.8000
12	1600	0	0

Density (gr/cm³) (approximate values):

1.54 1.77 1.82 1.89 1.92 1.96 2.04 2.08 2.12 2.20 2.21 2.28

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values):

6 40 59 109 151 214 413 749 1191 2657 3177 5827

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values):

0 0 0 0 0 0 0 0 0 1362 655

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 119 313 374 499 582 687 937 1122 1299 1796 1870 2493

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30 0.25 0.20 0.15 0.15

Vs30 and VsE (m/s): 576, 576

Mean model (rif. - 15,00 m dal piano campagna):

Vs (m/s): 60, 150, 180, 240, 280, 330, 450, 600, 750, 1100, 1200, 1600

Thickness (m): 0.3, 0.5, 2.0, 3.0, 3.0, 5.0, 6.0, 11.0, 40.0, 100.0, 200.0

Vs model (Vs30 & VsE at 15 m: 626 626 m/s

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	60	0.3000	0.3000
2	150	0.5000	0.8000
3	180	2	2.8000
4	240	3	5.8000
5	280	3	8.8000
6	330	5	13.8000
7	450	6	19.8000
8	600	11	30.8000
9	750	40	70.8000
10	1100	100	170.8000
11	1200	200	370.8000
12	1600	0	0

Density (gr/cm³) (approximate values):

1.54 1.77 1.82 1.89 1.92 1.96 2.04 2.08 2.12 2.20 2.21 2.28

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values):

6 40 59 109 151 214 413 749 1191 2657 3177 5827

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values):

0 0 0 0 0 0 0 0 0 1362 655

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 119 313 374 499 582 687 937 1122 1299 1796 1870 2493

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30 0.25 0.20 0.15 0.15

Vs30 and VsE (m/s): 626, 626

Alla luce dei risultati dell'interpretazione combinata MASW-HVSR è possibile quindi quantomeno confermare l'attribuzione dei terreni di fondazione dell'edificio in progetto, considerando lo scavo da realizzare, alla categoria B del D.M. 17 gennaio 2018 (Tab.3.2.II; Tab. 3.2.IV):

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

- Indagine Sismica a Rifrazione in ONDE P

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o S) generate in superficie da una sorgente sismica e captate da geofoni, verticali o orizzontali, anch'essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze (offset) dalla sorgente. I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima (calcolo) delle geometrie del sottosuolo (topografia o disposizione morfologica delle interfacce) e delle velocità di propagazione delle onde sismiche. Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo, per cui nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La tecnica di indagine consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da detta onda a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di rilevazione (geofoni) secondo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde longitudinali (V_p) o trasversali (V_s) dei mezzi attraversati ed il loro spessore. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti. Per lo stesso tipo di materiale, può variare in funzione di numerosi parametri quali il grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione per i materiali litoidi, ed in funzione dello stato di consistenza/addensamento, grado di saturazione, per i materiali granulari e fini. Sensibili differenze si possono avere, anche con riferimento all'assetto morfologico rispetto alle velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. Inoltre la velocità delle onde P compressionali, rispetto alle SH trasversali, è fortemente influenzata, come nel nostro caso, dalla presenza di eventuale acquifero e/o dal grado di saturazione.

- Strumentazione e tecnica utilizzata

Nel caso specifico la strumentazione impiegata per le indagini sismiche a rifrazione in onde P è la seguente:

- Sismografo: amplificatore sismico PASI 16S24-U a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza da 10 kg su piastra di duralluminio, e trigger costituito da geofono da 10 Hz posto di fianco alla sorgente;
- Ricevitori: Geofoni ad asse verticale 10 Hz, con interdistanza di 3 (SR1) o 2 m (SR2);
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 2048 / 8192 campioni, pari a 2 s

Sono state realizzate n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione con 24 geofoni (SR1 ed SR2), come da schemi seguenti:

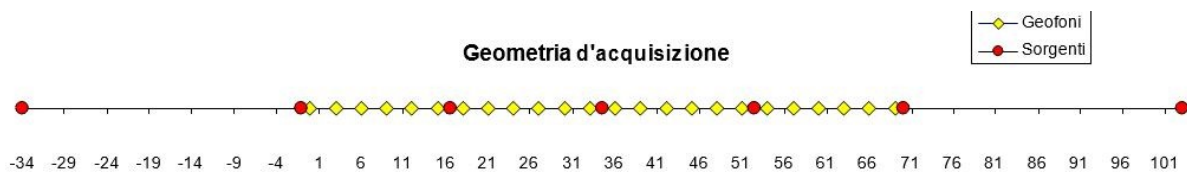


Fig. 17 – geometria di acquisizione sismica di rifrazione SR1

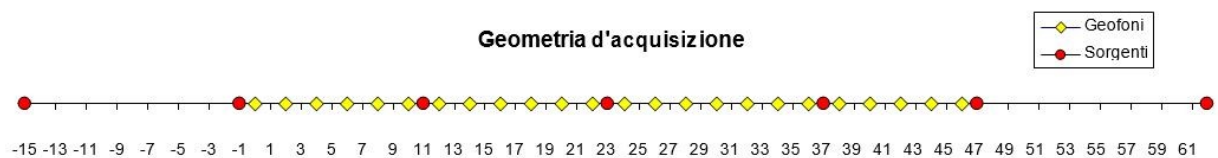


Fig. 18 – geometria di acquisizione sismica di rifrazione SR2

- Elaborazione dei dati

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software Winsism v. 13 di J. Jenny (W_Geosoft), per la rifrazione onde P. Considerati gli scopi dell'indagine si è scelto di realizzare n. 7 energizzazioni (shot) secondo gli schemi riportati nelle figg. 13 e 14, dove sono evidenziati gli off-end shot (-34 m, 103 m, per SR1; -15 m e 62 m per SR2), gli end shot (-1 m, 70 m in SR1; -1 m e 47 m in SR2), i medi-central shot (16,5 m, 52,5 m; 12,5 m, 42,5 m) ed il central shot (34,5 m; 27,5 m). La distanza tra punto di scoppio ed i geofoni fondamentale regola la profondità d'investigazione, mentre il numero di energizzazioni lungo la base ne determina l'accuratezza. Più la distanza è grande e maggiore sarà la profondità investigata. In linea generale poi per stendimenti minori di 100 metri buoni risultati si ottengono con 5-7 punti di battuta. Si è quindi proceduto ad effettuare le diverse acquisizioni impostando la durata del campionamento, la frequenza ed il guadagno automatico con battuta. I sismogrammi acquisiti sono stati quindi sottoposti a filtraggio "passa basso" (LP 250 Hz) per cercare di ridurre il forte rumore di fondo di cui abbiamo già accennato nel paragrafo introduttivo. I tempi di primo arrivo delle onde P risultano fortemente influenzati, in entrambi gli stendimenti sismici, da tale rumore, dato inevitabilmente dalla posizione stessa dei profili e dalla presenza di sottostrutture quali per esempio i locali tecnici interrati presenti tra la sede ferroviaria e l'edificio esistente lungo il profilo SR1 (lato Nord), come si evidenzia nella figura seguente:

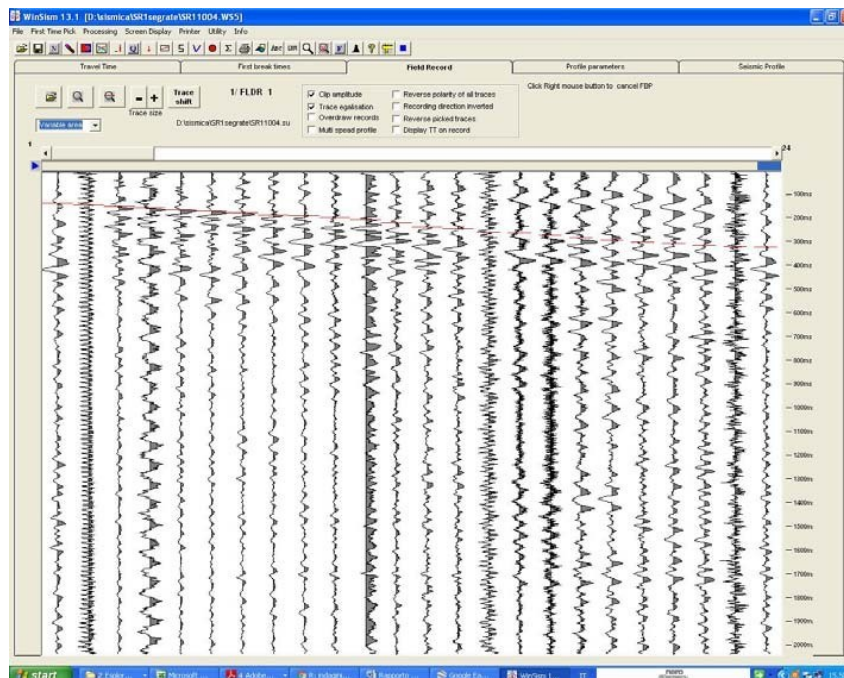


Fig. 19: Sismogramma registrato nella prova SR1 (off – end shot 1)

Anche i tentativi di filtraggio (taglio delle alte frequenze) non hanno prodotto eccessivi miglioramenti in relazione alla qualità del segnale rilevato, e ciò ovviamente influisce negativamente sulle possibilità di effettuare un corretto picking dei primi arrivi. Nonostante dette difficoltà si è comunque proceduto a ricostruire i travel time (dromocrone di fig. 17 e 18) delle onde P, e quindi si è realizzata l'elaborazione con il metodo dei “tempi di ritardo” (delay) e con metodo diretto, ricostruendo così i profili sismici che seguono.

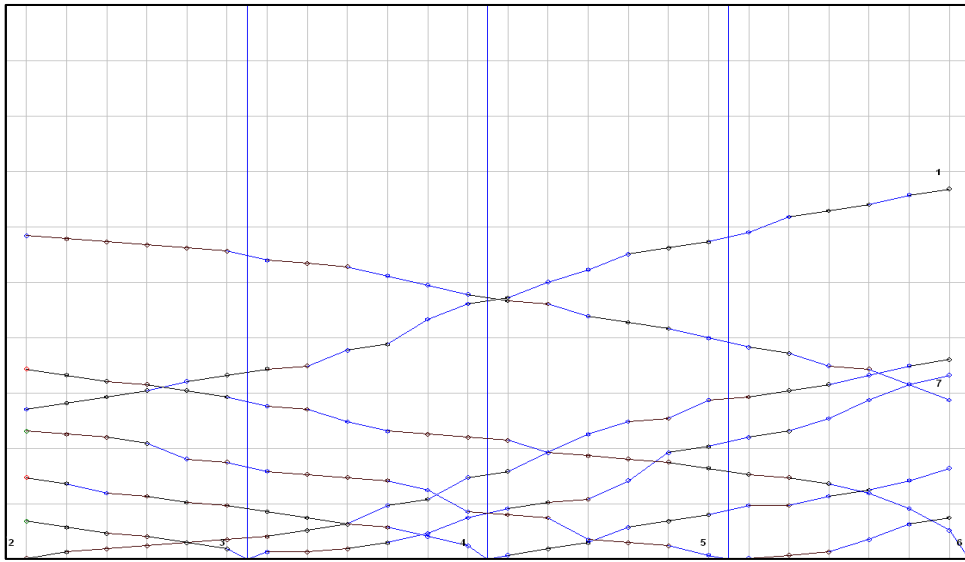


Fig. 20: Dromocrona prova SR1

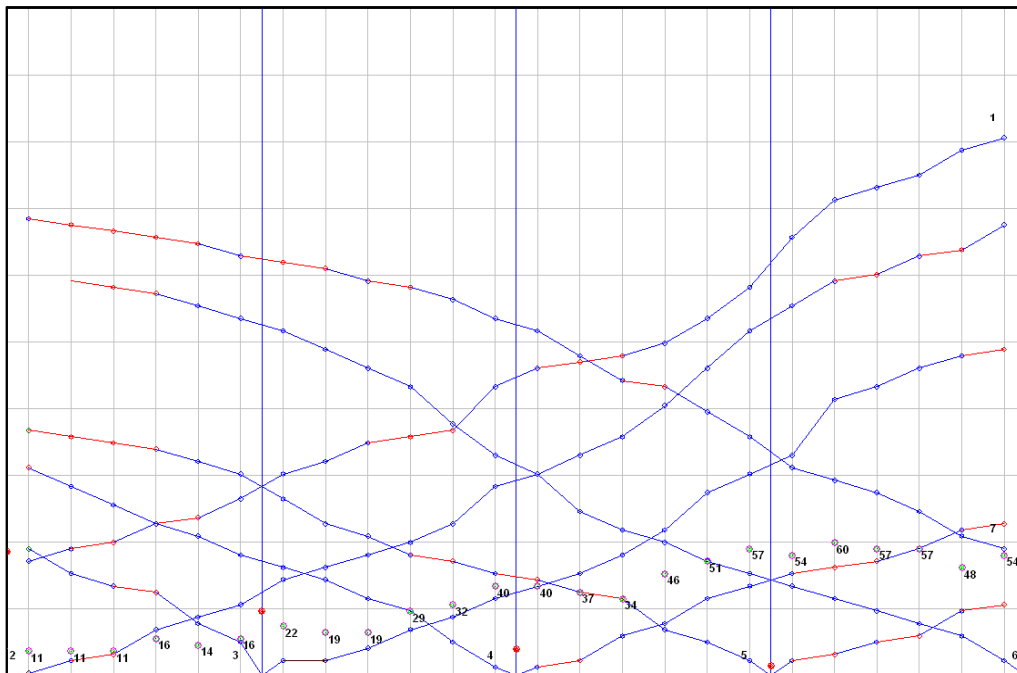


Fig. 21: Dromocrona prova SR2

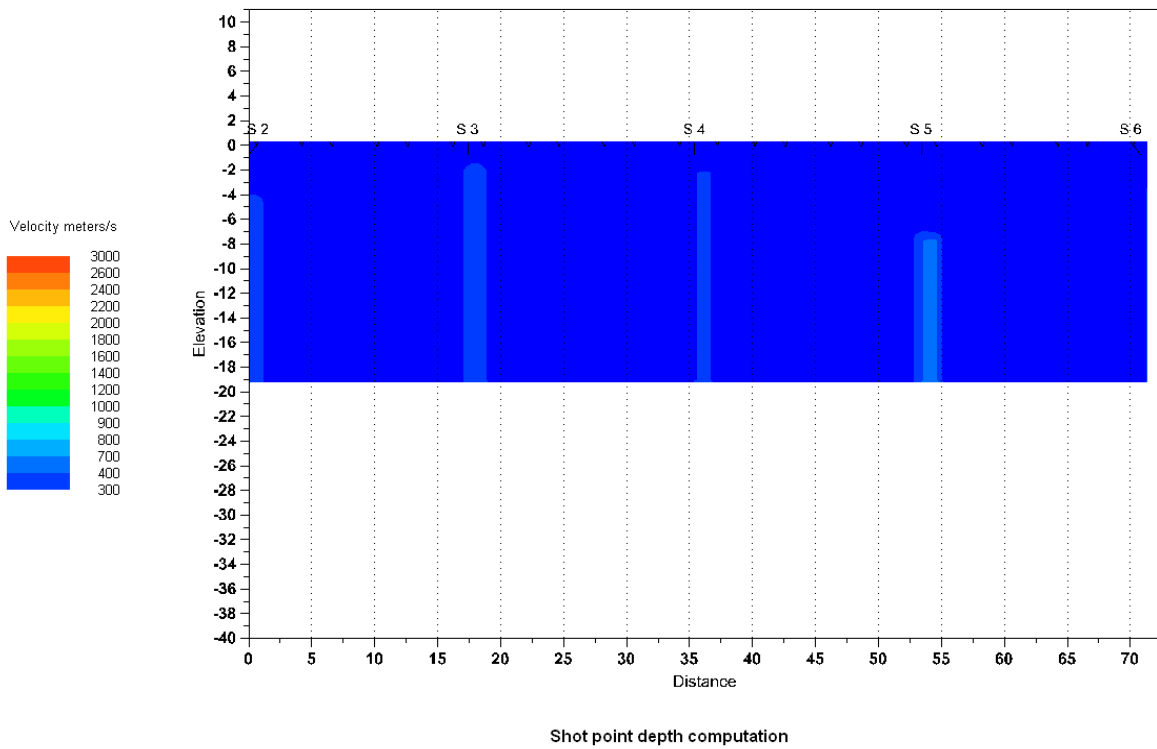


Fig. 22: Sezione Vp, metodo dei “delay time”, winsism 13.0, SR1

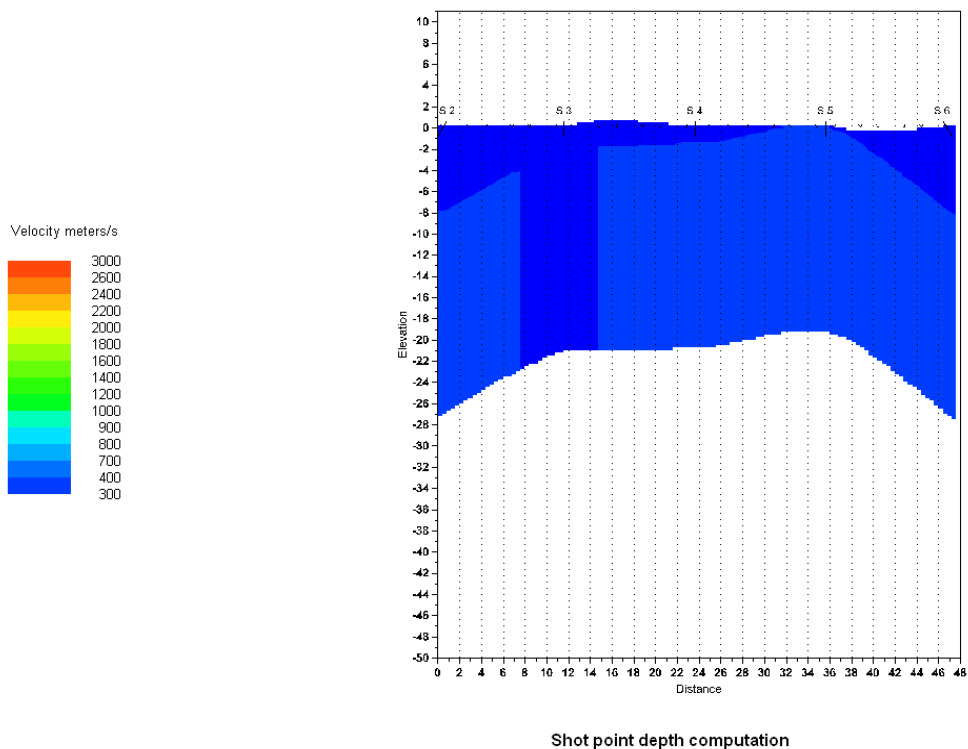


Fig. 23: Sezione Vp, metodo dei “delay time”, winsism 13.0, SR2

Nel caso specifico delle prospezioni di sismica a rifrazione SR1 ed SR2 la profondità di indagine non ha chiaramente superato i 18-20 m dal piano campagna. Questo essenzialmente a causa delle obbligate dimensioni ridotte dei profili in superficie.

Si osserva come la Vp per dette profondità pare mantenersi complessivamente entro i 400 m/s in corrispondenza di SR1, mentre in SR2 si rileva un superficiale debole strato caratterizzato da Vp compresa tra 300 e 400 m/s ed un sismo strato più profondo con Vp incluse nel range 400 – 700 m/s. Si tratta di valori di velocità, per quelle profondità, comunque ancora in linea con quelli già rilevati durante l'esecuzione delle altre indagini. Inoltre, come già riferito, oltre al rumore di fondo c'è comunque sempre da tenere in debita considerazione, nel caso della definizione dei primi arrivi e dell'interpretazione della sismica compressionale, anche la presenza della falda, che qui si rinviene a profondità di circa 5 – 6 m dal p.c..

Indagine ambientale

Rimandando ai contenuti del Piano del Governo del Territorio del Comune di Segrate, vedi Tav. Cartografica “Sintesi degli elementi conoscitivi” di cui si riporta uno stralcio, l’area di interesse è classificata in AMB 13.

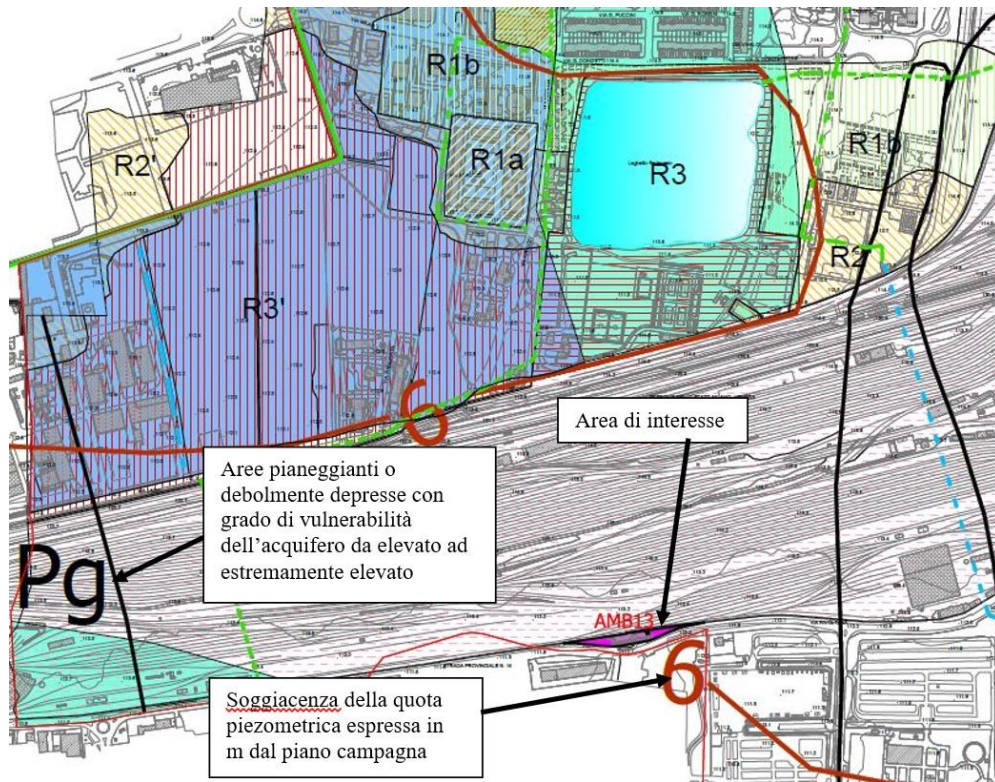


Fig. 24: Stralcio Tav. Cartografica “Sintesi degli elementi conoscitivi” – PGT Comune di Segrate

A tal proposito si riporta un estratto del PGT del Comune di Segrate, il quale illustra gli aspetti ambientali inerenti l’area di interesse.

Aree con procedimento e/o bonifica conclusa (concentrazioni al sito superiori alla CSC per la destinazione industriale/commerciale, ma inferiori alla CSR).

AMB 13 - RFI SpA, scalo di Milano smistamento, via Cima 50

In seguito alla segnalazione di malfunzionamento dell'impianto di riscaldamento asservito ad alcuni fabbricati, nel mese di luglio 2012, si è resa necessaria la rimozione di un serbatoio interrato in prossimità della centrale termica e si è riscontrato il superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC tab. 1/B all. 5 titolo V parte IV del DLgs

152/06) per il parametro idrocarburi pesanti C12, nel campione di fondo scavo a -3.50 m da p.c. Nel mese di giugno 2013 veniva presentato il piano di caratterizzazione che veniva approvato dal Comune di Segrate in sede di conferenza di servi del 23.07.2013.

Successivamente RFI presentava il documento di analisi di rischio AdR, che veniva approvato dall'Amministrazione Comunale in sede di conferenza di servizi del 11.06.2015, dalle cui conclusioni risulta, a seguito dell'applicazione della speciazione MADEP, che un valore della frazione idrocarburica C19-C36 è pari a 20mg/Kg, mentre le altre frazioni risultano, se presenti, in concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità.

Anche se i risultati ottenuti durante le precedenti campagne delle acque di falda hanno dato esito positivo, è stato ritenuto necessario un monitoraggio delle acque di falda in corrispondenza del pozzo PXV2 (considerato come POC), per la durata di un anno con frequenza semestrale, per la determinazione analitica del parametro degli idrocarburi totali (espressi come n-esano).

Il procedimento risulta concluso con il rispetto delle CSR a seguito dell'approvazione dell'analisi di rischio elaborata per un superamento delle CSC per la destinazione d'uso commerciale/industriale e anche il successivo monitoraggio risulta concluso.

Pertanto, visto tale aspetto, di cui si è avuta contezza in fase progettuale (anno 2019), si è deciso di approfondire tale quadro conoscitivo e si è eseguita una apposita campagna di indagini ambientali con relativo prelievo di campioni di suolo e di acque di falde per le relative analisi di laboratorio. Le procedure di campionamento ed analisi si sono svolte in ottemperanza alla normativa vigente D. Lgs 152/2006.

Di seguito si riporta il dettaglio di tale campagna di indagini:

- Esecuzione di n. 3 sondaggi Ambientali
 - ✓ S5 prof. 7 m
 - ✓ S6 prof. 7 m
 - ✓ S7 prof. 7 m
- Prelievo di campioni di suolo per analisi di laboratorio
 - ✓ S5C1 prof. da 0 – 1 m
 - ✓ S5C2 prof. da 2 – 3 m
 - ✓ S5C3 prof. da 4 – 5 m
 - ✓ S6C1 prof. da 0 – 1 m

- ✓ S6C2 prof. da 2-3 m
- ✓ S6C3 prof. da 4 – 5 m
- ✓ S7C1 prof. da 0 – 1 m
- ✓ S7C2 prof. da 2 – 3 m
- ✓ S7C3 prof. da 4 – 5 m

Sui campioni di suolo prelevato sono state eseguite le seguenti analisi:

- Parametro analizzato

- ✓ Metalli
- ✓ Amianto
- ✓ Idrocarburi >12
- ✓ Solventi organici aromatici
- ✓ IPA (solo nei campioni di suolo S5C1 – S5C2 – S5C3)

N. 2 prelievi di acque di falda eseguite nei piezometri S1 – S3

- Parametri analizzati

- ✓ Azoto ammoniacale, nitriti, nitrati, cloruri, solfati, ortofosfati, fluoruri e cianuri liberi
- ✓ Metalli
- ✓ Solventi clorurati
- ✓ Benzene; Benzo(a)pirene

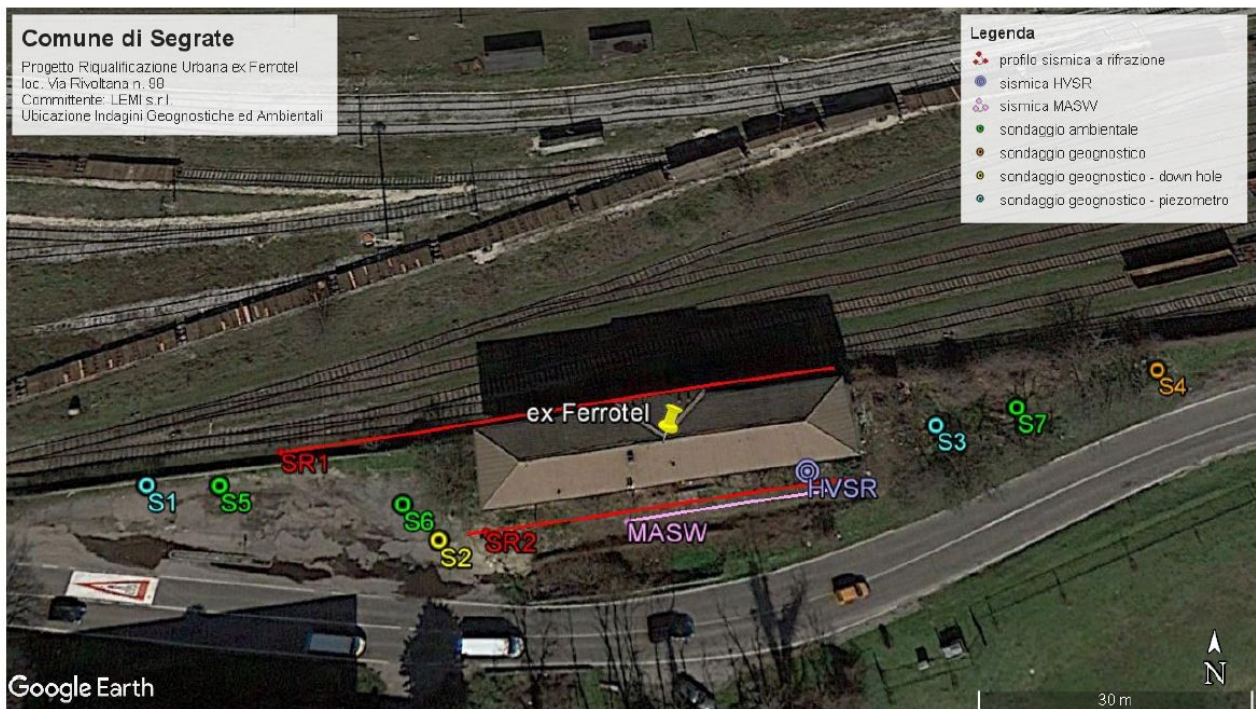


Fig. 25: Ubicazioni indagini geognostiche ed ambientali

In merito all'analisi eseguita sui campioni di suolo si riscontra quanto segue:

- ✓ S5C1 prof. da 0 – 1 m

Il campione risulta NON CONFORME ai limiti riportati nel D. Lgs. 152/2006, Allegato 5 al Titolo V parte IV, Tab. 1 colonna A per i parametri: Idrocarburi C>12. I parametri analizzati del campione oggetto di indagine risultano CONFORMI ai limiti riportati nel D. Lgs. 152/2006, Allegato 5 al Titolo V parte IV, Tab. 1 colonna B.

N.B.

Il parametro Idrocarburi C>12 presenta un valore di 84 mg/kg s.s., tale concentrazione è da intendersi oltre la soglia ammissibile 50 mg/kg s.s. e non rientra nella fascia di incertezza la quale ha un valore di +/- 14 a partire dal CSC di 50 mg/kg s.s. Ai sensi del D. Lgs. 152/2006, si evince che tale parametro è da intendersi NON CONFORME per siti aventi destinazioni d'uso di Verde pubblico, Privato e Residenziale. Invece per le aree aventi destinazioni d'uso Commerciale ed Industriale tale parametro è da intendersi CONFORME poiché in quel caso il CSC di Idrocarburi C>12 è 750 mg/kg s.s.

- ✓ S7C1 prof. da 0 – 1 m

Il campione risulta NON CONFORME ai limiti riportati nel D. Lgs. 152/2006, Allegato 5 al Titolo V parte IV, Tab. 1 colonna A per i parametri: Piombo, Rame, Zinco. I parametri analizzati del campione oggetto di indagine risultano CONFORMI ai limiti riportati nel D. Lgs. 152/2006, Allegato 5 al Titolo V parte IV, Tab. 1 colonna B.

N.B.

Il parametro Piombo presenta un valore di 230 mg/kg s.s., tale concentrazione è da intendersi oltre la soglia ammissibile 100 mg/kg s.s. e non rientra nella fascia di incertezza la quale ha un valore di +/- 32 a partire dal CSC di 100 mg/kg s.s. Ai sensi del D. Lgs. 152/2006, si evince che tale parametro è da intendersi NON CONFORME per siti aventi destinazioni d'uso di Verde pubblico, Privato e Residenziale. Invece per le aree aventi destinazioni d'uso Commerciale ed Industriale tale parametro è da intendersi CONFORME poiché in quel caso il CSC del Piombo è 1000 mg/kg s.s.

Il parametro Rame presenta un valore di 130 mg/kg s.s., tale concentrazione è da intendersi oltre la soglia ammissibile 120 mg/kg s.s. tuttavia rientra nella fascia di incertezza la quale ha un valore di +/- 20 a partire dal CSC di 130 mg/kg s.s. Ai sensi del D. Lgs. 152/2006, considerando la fascia di incertezza si evince che tale parametro è da intendersi CONFORME per siti aventi destinazioni d'uso di Verde pubblico, Privato e Residenziale. Inoltre per le aree aventi destinazioni d'uso Commerciale ed Industriale tale parametro è da intendersi CONFORME poiché in quel caso il CSC del Rame è 600 mg/kg s.s.

Il parametro Zinco presenta un valore di 160 mg/kg s.s., tale concentrazione è da intendersi oltre la soglia ammissibile 150 mg/kg s.s. tuttavia rientra nella fascia di incertezza la quale ha un valore di +/- 24 a partire dal CSC di 150 mg/kg s.s. Ai sensi del D. Lgs. 152/2006, considerando la fascia di incertezza si evince che tale parametro è da intendersi CONFORME per siti aventi destinazioni d'uso di Verde pubblico, Privato e Residenziale. Inoltre per le aree aventi destinazioni d'uso Commerciale ed Industriale tale parametro è da intendersi CONFORME poiché in quel caso il CSC dello Zinco è 1500 mg/kg s.s.

In merito all'analisi eseguita sui campioni di acqua di falda si riscontra quanto segue:

- ✓ Prelievo acqua di falda nel Piezometro S1

Il campione risulta NON CONFORME ai limiti riportati nel D. Lgs. 152/2006, Allegato 5 al Titolo V parte IV, Tab. 2 concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee, in quanto si riscontra una concentrazione di Alluminio pari a 1900 μ /l rispetto al valore limite di 200 μ /l e fascia di incertezza +/- 552.

- ✓ Prelievo acqua di falda nel Piezometro S3

Il campione risulta NON CONFORME ai limiti riportati nel D. Lgs. 152/2006, Allegato 5 al Titolo V parte IV, Tab. 2 concentrazione soglia di contaminazione nelle acque sotterranee, in quanto si riscontra un valore di Alluminio pari a 520 μ /l rispetto al CSC di 200 μ /l e fascia di incertezza +/- 184

- Considerazioni in merito alle risultanze della campagna di indagini ambientali

Preso atto dei rapporti di prova inerenti le analisi di laboratorio si ritiene che l'area di interesse è potenzialmente contaminata. Tale aspetto, per quanto attiene i campioni di suolo, può subire un passaggio da uno stato di non conformità ad uno di conformità al variare della destinazione d'uso del sito, ovvero la destinazione d'uso commerciale/industriale presenta dei valori soglia entro cui sono ricompresi tutti i parametri analizzati. Discorso a parte se consideriamo il sito di interesse con destinazione d'uso Verde pubblico, Privato e Residenziale, in tale caso i parametri Non Conformi interessano i valori di Idrocarburi C>12 e Piombo, invece per Zinco e Rame, seppur maggiori del corrispondente CSC, rientrano nella fascia di incertezza e pertanto sono da ritenere conformi.

In merito alla caratterizzazione delle acque di falda si evince un valore fuori soglia per quanto attiene l'Alluminio, si specifica che in questo caso la normativa non differenzia il valore di CSC in funzione della destinazione d'uso dell'area. Dunque per l'area oggetto di intervento lo status di sito potenzialmente contaminato genera l'obbligo di un approfondimento di tale livello di conoscenza tramite la predisposizione di un piano di caratterizzazione, a cui se confermata l'attuale condizione dovrà seguire un intervento di bonifica ambientale. Si evince inoltre che tale situazione vincola le scelte progettuali ed indirizza le stesse secondo criteri che debbano tenere in considerazione tale stato dei luoghi. La scelta di realizzare parte della struttura in condizioni interrato, comporta lo sbancamento di un volume di terreno tramite il quale si elimina la problematica di contaminazione del suolo, poiché quei livelli saranno oggetto di rimozione. Tuttavia essendo la falda idrica potenzialmente contaminata, le operazioni di scavo possono essere eseguite soltanto in due condizioni: A) dopo la fase di bonifica B) durante la fase di bonifica. La contaminazione delle acque sotterranee rileva concentrazioni molto elevate di Al in corrispondenza del piezometro S1 e inferiori, seppure sempre maggiori delle CSC, in corrispondenza di S3. La concentrazione superiore pare essere quindi nel punto forse più a monte idrogeologico del sito e al confine con la sede ferroviaria. È quindi da presumere in prima analisi che la sorgente della contaminazione sia da individuarsi a monte del sito, nell'area di proprietà di RFI, e può derivare da una lavorazione specifica o da un impianto di trattamento/depurazione acque non correttamente funzionante. Se vale tale considerazione, il piano della caratterizzazione sarà presumibilmente da estendere all'intera area RFI con individuazione e delimitazione della sorgente della contaminazione e successiva analisi del rischio sito specifico. In tal caso bisogna comunque tenere presente che il sito per il quale è in progetto l'abbattimento e la ricostruzione di un nuovo Hotel non è direttamente sede di attività produttiva e la nuova destinazione d'uso sarà di tipo residenziale.

Liquefazione

7.11.3.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (da NTC 2018)

7.11.3.4.1

Generalità Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

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

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$

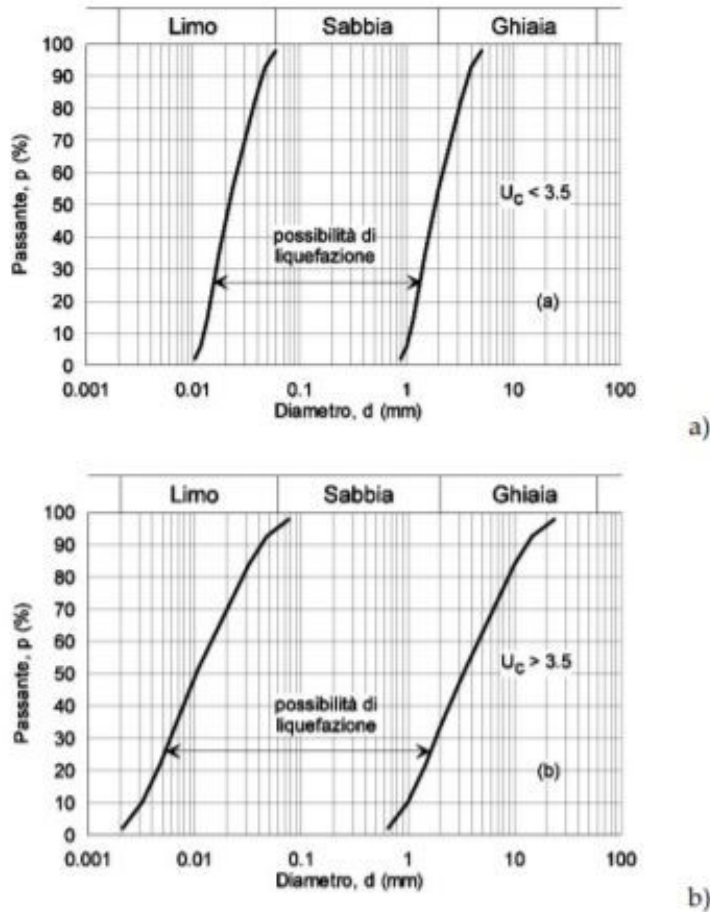


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Per quanto attiene alla verifica di liquefazione per la struttura in questione si può omettere in quanto per l'area di interesse ricorre la condizione di esclusione di cui al precedente punto 1, poiché le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1 g.

Analisi sismica di terzo livello

✓ Simulazioni numeriche di risposta sismica locale

Le analisi numeriche di risposta sismica simulano la propagazione delle onde attraverso il substrato ed i terreni di copertura per calcolare la risposta in superficie. Esistono molti codici di calcolo e la scelta su quale utilizzare dipende sia dalle condizioni del sito da modellare (geometria degli strati, proprietà dei materiali, input sismico) che dal numero e dalla qualità dei dati di ingresso disponibili. Il moto di input nella maggior parte dei casi è costituito da un accelerogramma, ma può anche essere uno spettro di risposta di Fourier o di densità di potenza. A seconda della geometria del sottosuolo al sito considerato si possono utilizzare nella simulazione codici monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali. I primi sono adatti a simulare una situazione caratterizzata da strati piano-paralleli poggianti su un substrato orizzontale, in cui le caratteristiche dei vari strati sono omogenee lateralmente e variano con la profondità. In questo caso si assume che le variazioni laterali di spessore e caratteristiche dei terreni sono irrilevanti e si calcola la risposta per una colonna di terreno caratteristica. I codici di calcolo bi- e tridimensionali sono invece validi anche dove c'è una geometria variabile del sottosuolo, e sono in grado di stimare la risposta sismica lungo una sezione (2D) o in un volume (3D) di terreno. E' importante notare tuttavia che tali codici, in particolare i 3D, sono onerosi e complessi e normalmente si applicano in bassa frequenza, per problemi di tempi di calcolo e di dettaglio delle informazioni. Un esempio di situazione reale in cui possono generarsi effetti bidimensionali è quello delle aree di bordo di una valle alluvionale. Tali effetti possono essere dovuti alla focalizzazione delle onde sismiche in strutture con geometria lenticolare, oppure al generarsi di onde di superficie all'interfaccia non orizzontale roccia-terreno sul bordo del bacino. Le onde di superficie si propagano orizzontalmente e sono caratterizzate da basse velocità di propagazione e periodi di vibrazione lunghi (0.5-5 s) e possono essere soggette a riflessioni multiple sui bordi della valle. Trascurarle nella modellazione può portare ad una significativa sottostima dell'amplificazione del moto, rilevante in particolare per quelle strutture con lunghi periodi di vibrazione, come ponti, dighe o strutture alte. In valli alluvionali larghe la situazione lontano dai bordi è assimilabile a quella monodimensionale e le simulazioni numeriche 1D sono adatte al calcolo della risposta sismica. Le situazioni in cui si ritiene invece che la modellazione 1D non sia sufficiente neanche per le aree di centro valle sono quelle di valle profonda, con fattore di forma $H/L > 0.25$, dove H è lo spessore totale dei depositi ed L è la semilarghezza della valle. In questo tipo di valli l'interferenza delle onde riflesse ai bordi del bacino

crea effetti complessi che non possono essere adeguatamente riprodotti dalla simulazione monodimensionale.

✓ Caratterizzazione dei terreni per le simulazioni numeriche

La caratterizzazione dinamica dei terreni è un fattore molto importante nell'analisi della risposta sismica locale, in particolare per quel che riguarda le misure di V_s , da cui si ricava la rigidezza iniziale dei materiali G_0 (detta anche G_{max}). La stima delle V_s andrà quindi eseguita tramite misure dirette in sito o in laboratorio. Le tecniche maggiormente usate sono la sismica a rifrazione con onde SH3 e le indagini Down-Hole, Cross-Hole e SASW. Le curve $G/G_0 - \gamma$ e $D - \gamma$ possono essere ricavate da diverse indagini di laboratorio quali le prove di Taglio Torsionale Ciclico (TTC), di Colonna Risonante (CR) e triassiali cicliche (TXC). Le prove TXC sono adatte anche per ottenere i parametri utilizzabili nelle simulazioni con metodi non-lineari, piuttosto che lineari equivalenti, in quanto dalle prove cicliche è possibile ricavare le curve sforzo-deformazione di scarico e ricarico ed osservare eventuali fenomeni di degradazione ciclica.

✓ Moto di input per le simulazioni numeriche

Il moto di input per le simulazioni numeriche di risposta sismica locale è generalmente rappresentato da accelerogrammi in superficie, riferiti a condizioni di suolo rigido orizzontale, liberi da effetti di amplificazione litostratigrafica o topografica. L'ampiezza ed il contenuto in frequenza di tali accelerogrammi dipende dalle caratteristiche della sorgente sismica (dimensioni della faglia, meccanismo di rottura), dalla magnitudo, e dalle caratteristiche fisico-meccaniche del percorso sorgente-sito.

✓ **Report Analisi Sismica di Terzo Livello**

Lo studio di Risposta Sismica Locale è stato redatto tenendo in considerazione i seguenti dati di input:

- Definizione dati spettro di normativa:

La verifica è stata condotta per lo Stato Limite SLV per edificio ricadente in classe d'uso III, vita nominale 50 anni, periodo di riferimento 75 anni

- Sismostratigrafia di riferimento:

Al fine di eseguire una modellazione esaustiva della condizioni stratigrafiche dell'area di interesse, nel codice di calcolo è stata inserita la stratigrafia desunta dall'indagine sismica down-hole (sondaggio S2), la quale si riporta di seguito:

Metodo intervallo

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei tempi dei primi arrivi delle onde P ed S con il *metodo intervallo* si è utilizzato ancora il software Downhole della Geostru.

Profondità di riferimento: 0 - 45 m (dal piano campagna)
Vs,eq: 533,22 m/s

Profondità di riferimento: 15 - 45 m (dalla prof. di fondazione – scavo in progetto)
Vs,eq: 674,65 m/s

Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione [-]	Profondità [m]
Sabbia limosa	9
Sabbia ghiaiosa	15
Ghiaia	27
Sabbia ghiaiosa	35
Ghiaia sabbiosa	41
Limo sabbioso-argilloso	45

Valori medi

Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/m3]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
708,49	305,48	20,49	0,41	212,93	1119,20	534,37	1070,10
2942,67	573,39	21,27	0,47	879,59	27665,52	2603,56	26492,73
3202,76	749,44	21,78	0,43	1660,62	35667,60	3983,40	40267,76
3545,83	464,84	20,17	0,48	460,71	29417,15	1363,57	28802,87
1230,18	727,15	21,83	0,32	1409,60	3376,86	3089,92	2349,38
6607,20	1336,17	23,64	0,47	5710,10	105226,20	16610,46	97612,74

Si precisa, che i valori di V_s dell'ultimo sismostrato, ovvero Limo sabbioso-argilloso, presentano un valore di V_s pari a 1336,17 m/s. Tale velocità non trova riscontro nei valori registrati per il medesimo sismostrato nelle altre indagini sismiche, pertanto al fine di definire un corretto input sismico ed evitare possibili effetti di amplificazioni dovuti ad una sovrastima di tale parametro, si è deciso di adottare una velocità di V_s per tale sismostrato pari a 900 m/s. Questo valore è stato ottenuto mediando le varie velocità ottenute per tale sismostrato nelle diverse indagini eseguite, inoltre si reputa che un valore di V_s pari a 1336,17 m/s non sia rappresentativo delle condizioni geomeccaniche di tale sismostrato, infatti le prove S.P.T. non restituiscono valori indicativi di uno stato di sovraconsolidazione. **Inoltre dalla stratigrafia sopra descritta, in fase di calcolo sono stati eliminati i primi 12 m di spessore poiché si tiene in considerazione il volume di terreno che sarà oggetto di sbancamento.**

- Curva di variazione/decadimento della rigidità G (rapporto (G/G0)):

E' stata estrapolata dalle prove torsionali cicliche eseguite nell'area di interesse (i dettagli di tali prove sono altresì contenuti nel report sulle indagini geognostiche), e successivamente per constatare la sua validità si è deciso di fare un confronto con le relative curve estratte dalla Banca Dati della Regione Lombardia.

- Curva di variazione/decadimento dello smorzamento D (in %):

E' stata estrapolata dalle prove torsionali cicliche eseguite nell'area di interesse (i dettagli di tali prove sono altresì contenuti nel report sulle indagini geognostiche), e successivamente per constatare la sua validità si è deciso di fare un confronto con le relative curve estratte dalla Banca Dati della Regione Lombardia.

- Accelerogrammi:

La procedura prevede l'inserimento di segnali temporali per l'analisi della risposta sismica e la profondità alla quale questi vanno inseriti nel profilo di riferimento. Il segnale di input è stato in corrispondenza del Bedrock Sismico ($V_s > 800$ m/s), che per il sito di interesse si trova ad una profondità di 41 m.

Il presente studio di Risposta Sismica Locale è stato eseguito secondo due modalità, ovvero:

- ✓ A) in questa modellazione sono stati estratti gli accelerogrammi dalla Banca Dati della Regione Lombardia relativa ai Comuni ricadenti nella Fascia 3, a cui appartiene Segrate.

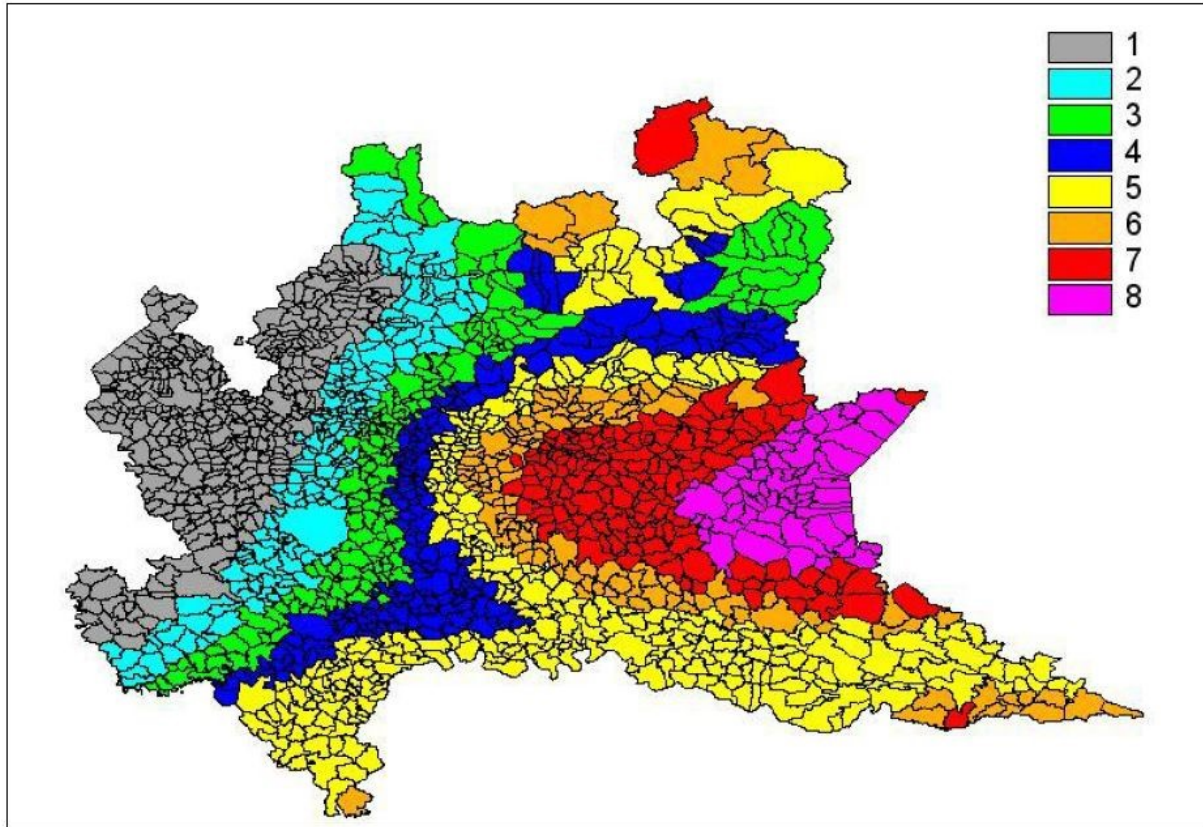


Fig. 26: Mappa del raggruppamento dei comuni della Lombardia, i quali sono suddivisi in 8 fasce. Il Comune di Segrate appartiene alla Fascia 3.

- ✓ B) In questa seconda simulazione è stato estratto un set di n. 7 accelerogrammi dalla Banca Dati ITACA. Tutto il processo di calcolo è stato condotto secondo quanto normato dal DM 17.01.2018

- Interpretazione dati:

L'intera iterazione di calcolo è stata svolta utilizzando il software della Geostru denominato Risposta Sismica Locale – RSL III.

Nelle pagine seguenti si riporta la procedura di calcolo su cui è impostato tale software.

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come

ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la

propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

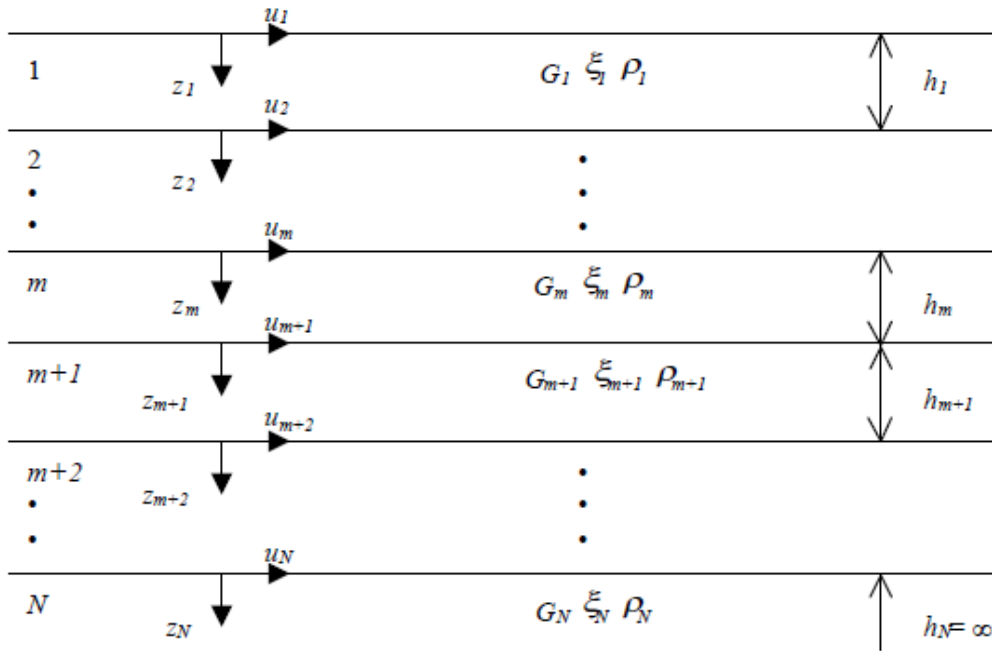


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* \left(E e^{ik^*z} - F e^{-ik^*z} \right) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

- ✓ **Risposta Sismica Locale eseguita mediante input sismico generato dagli accelerogrammi (n. 5) estratti dal Data Base Regione Lombardia per i Comuni di Fascia 3 (Segrate)**

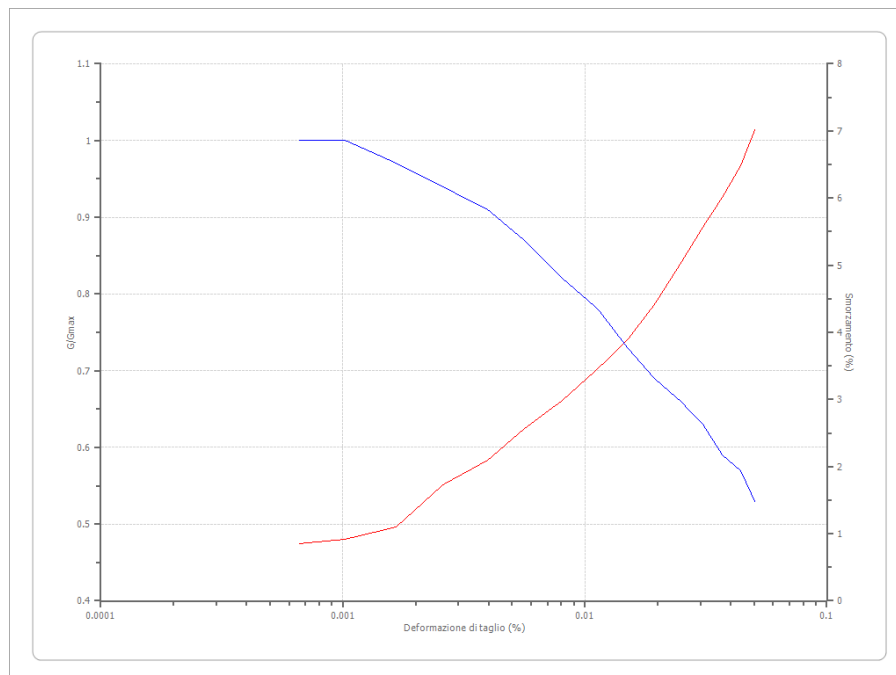
Dati generali

Via Via Rivoltana n. 98, Segrate (MI)
 Latitudine 45.4725075[°]
 Longitudine 9.271229[°]

Terreni

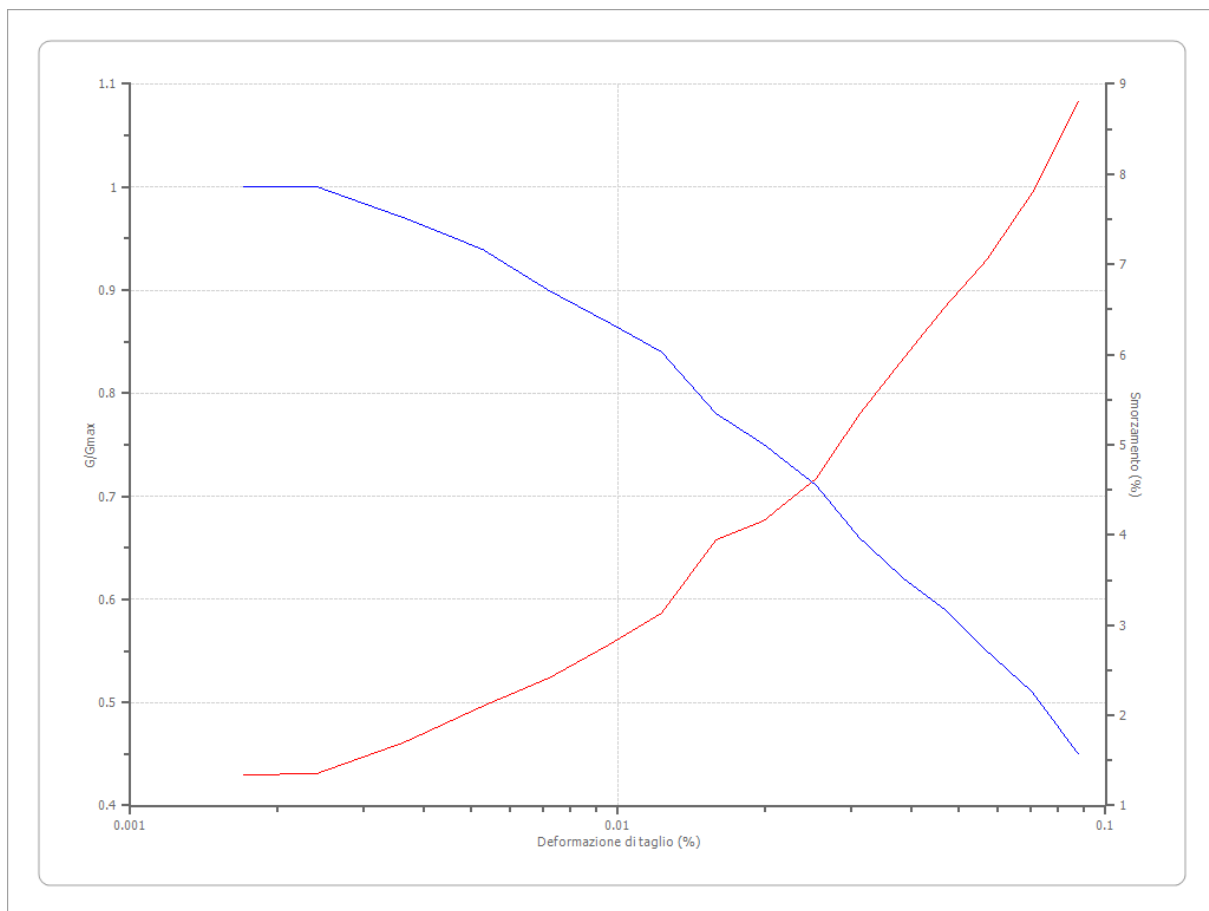
Sabbie limose e argillose Segrate

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00066	1.000	0.00066	0.850
0.00102	1.000	0.00102	0.910
0.00166	0.970	0.00166	1.100
0.00259	0.940	0.00259	1.730
0.00397	0.910	0.00397	2.090
0.00563	0.870	0.00563	2.560
0.00807	0.820	0.00807	2.980
0.01131	0.780	0.01131	3.460
0.01501	0.730	0.01501	3.890
0.01938	0.690	0.01938	4.410
0.02488	0.660	0.02488	5.030
0.03071	0.630	0.03071	5.560
0.03697	0.590	0.03697	6.010
0.04404	0.570	0.04404	6.480
0.05045	0.530	0.05045	7.020



Sabbia ghiaiosa deb. limosa Segrate

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00171	1.000	0.00171	1.340
0.00241	1.000	0.00241	1.350
0.00362	0.970	0.00362	1.690
0.00527	0.940	0.00527	2.100
0.00722	0.900	0.00722	2.410
0.00947	0.870	0.00947	2.770
0.01229	0.840	0.01229	3.130
0.01588	0.780	0.01588	3.940
0.01987	0.750	0.01987	4.160
0.02551	0.710	0.02551	4.630
0.03122	0.660	0.03122	5.330
0.03857	0.620	0.03857	5.960
0.0468	0.590	0.0468	6.530
0.05702	0.550	0.05702	7.050
0.07077	0.510	0.07077	7.800
0.08773	0.450	0.08773	8.810

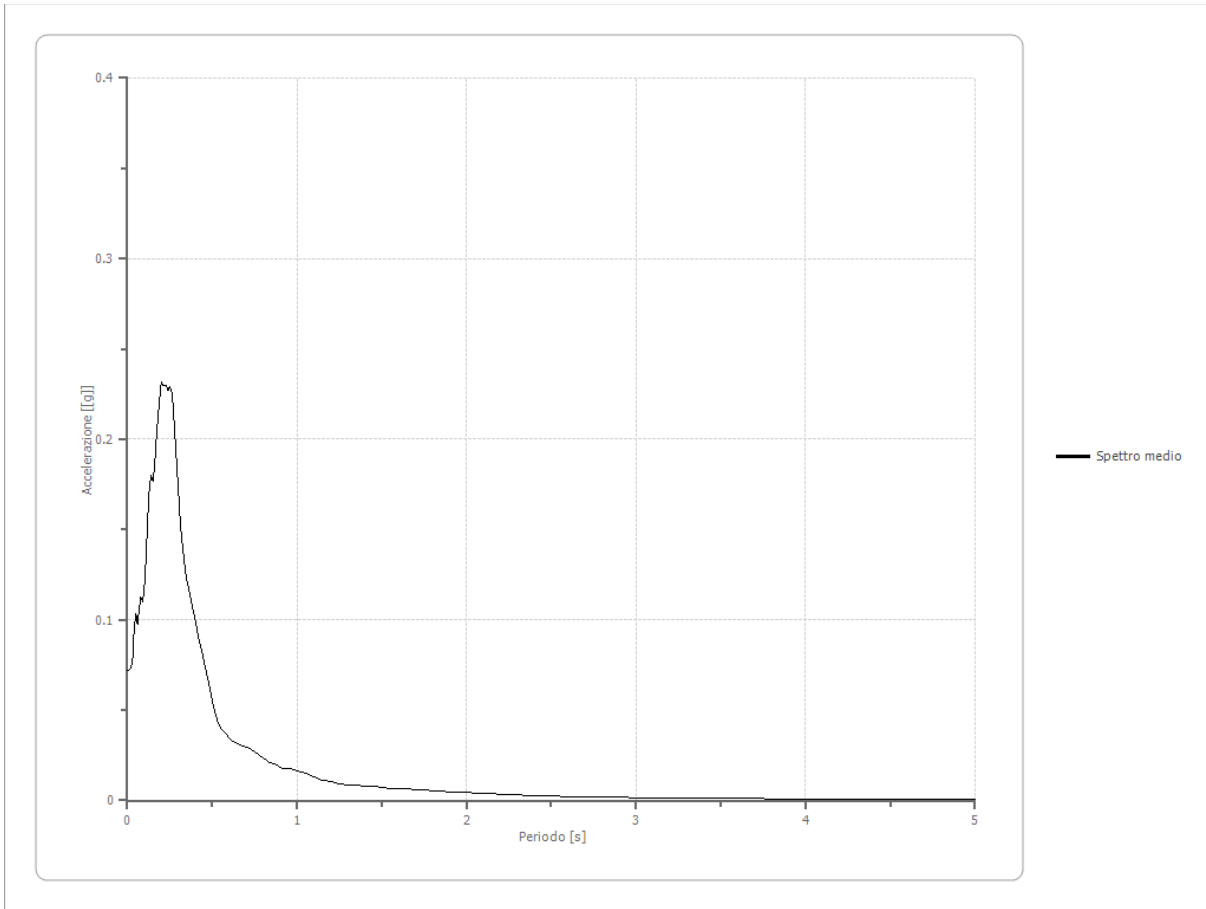


Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.020	0.026	0.200	1.288
0.500	1.500	0.032	0.038	0.333	1.158

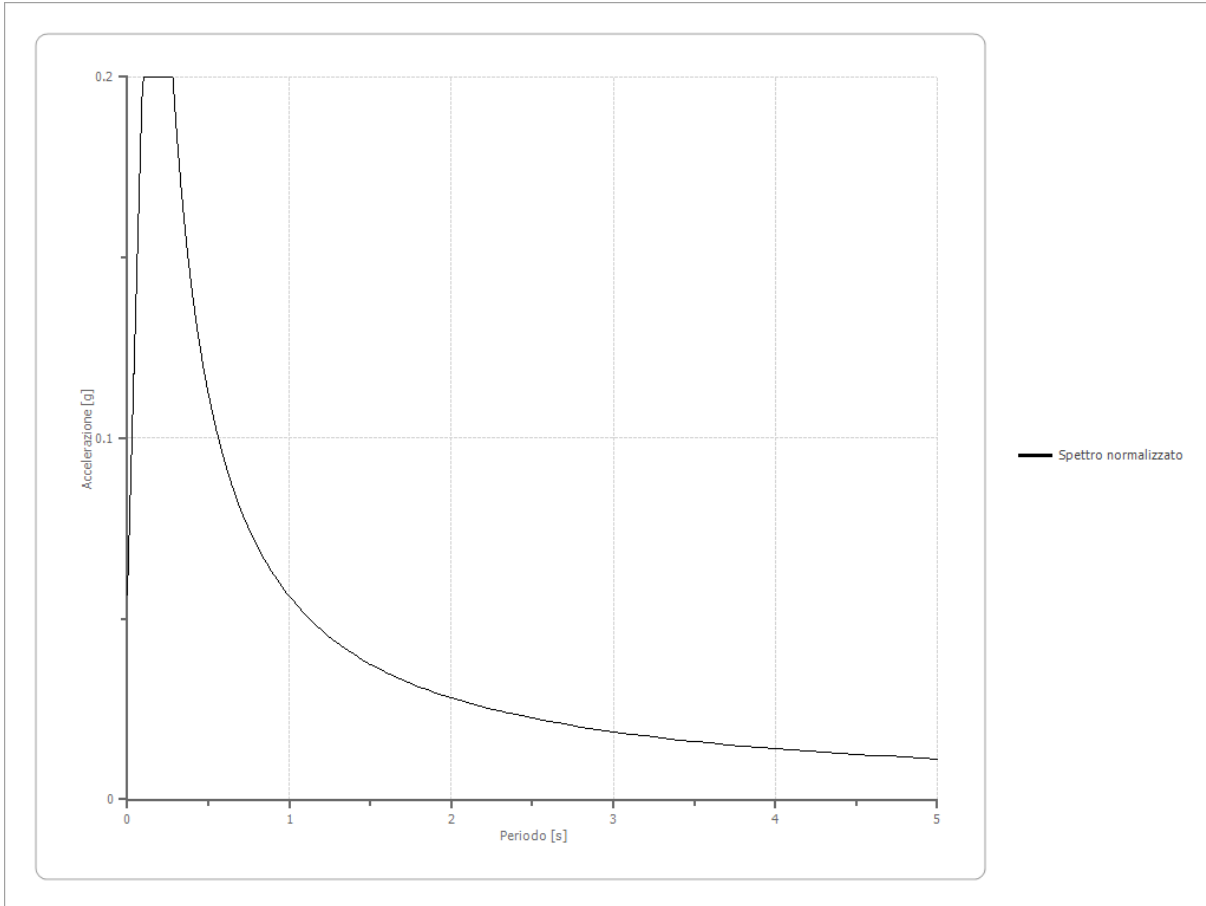
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0718	0.28	0.2031	0.56	0.0390	1.25	0.0093	2.90	0.0017
0.01	0.0718	0.29	0.1879	0.57	0.0381	1.30	0.0087	3.00	0.0016
0.02	0.0731	0.30	0.1730	0.58	0.0373	1.35	0.0083	3.10	0.0015
0.03	0.0764	0.31	0.1562	0.60	0.0349	1.40	0.0079	3.20	0.0014
0.04	0.0951	0.32	0.1452	0.62	0.0326	1.45	0.0077	3.30	0.0013
0.05	0.1033	0.33	0.1367	0.64	0.0320	1.50	0.0073	3.40	0.0012
0.06	0.0972	0.34	0.1281	0.66	0.0307	1.55	0.0067	3.50	0.0011
0.07	0.1065	0.35	0.1220	0.68	0.0299	1.60	0.0063	3.60	0.0011
0.08	0.1129	0.36	0.1180	0.70	0.0295	1.65	0.0063	3.70	0.0010
0.09	0.1097	0.37	0.1135	0.72	0.0287	1.70	0.0060	3.80	0.0009
0.10	0.1175	0.38	0.1087	0.74	0.0273	1.75	0.0057	3.90	0.0009
0.11	0.1344	0.39	0.1040	0.76	0.0262	1.80	0.0054	4.00	0.0008
0.12	0.1563	0.40	0.1000	0.78	0.0250	1.85	0.0051	4.10	0.0008
0.13	0.1738	0.41	0.0950	0.80	0.0236	1.90	0.0048	4.20	0.0008
0.14	0.1800	0.42	0.0899	0.82	0.0223	1.95	0.0045	4.30	0.0007
0.15	0.1766	0.43	0.0861	0.84	0.0212	2.00	0.0043	4.40	0.0007
0.16	0.1846	0.44	0.0822	0.86	0.0203	2.05	0.0040	4.50	0.0007
0.17	0.1998	0.45	0.0778	0.88	0.0193	2.10	0.0038	4.60	0.0006
0.18	0.2114	0.46	0.0736	0.90	0.0183	2.15	0.0036	4.70	0.0006
0.19	0.2223	0.47	0.0692	0.92	0.0178	2.20	0.0034	4.80	0.0006
0.20	0.2314	0.48	0.0646	0.94	0.0179	2.25	0.0032	4.90	0.0006
0.21	0.2298	0.49	0.0600	0.96	0.0176	2.30	0.0031	5.00	0.0005
0.22	0.2296	0.50	0.0555	0.98	0.0170	2.35	0.0029		
0.23	0.2298	0.51	0.0511	1.00	0.0165	2.40	0.0027		
0.24	0.2274	0.52	0.0475	1.05	0.0150	2.50	0.0023		
0.25	0.2289	0.53	0.0448	1.10	0.0130	2.60	0.0022		
0.26	0.2270	0.54	0.0421	1.15	0.0113	2.70	0.0020		
0.27	0.2182	0.55	0.0399	1.20	0.0102	2.80	0.0018		



Spettro normalizzato di risposta elastico

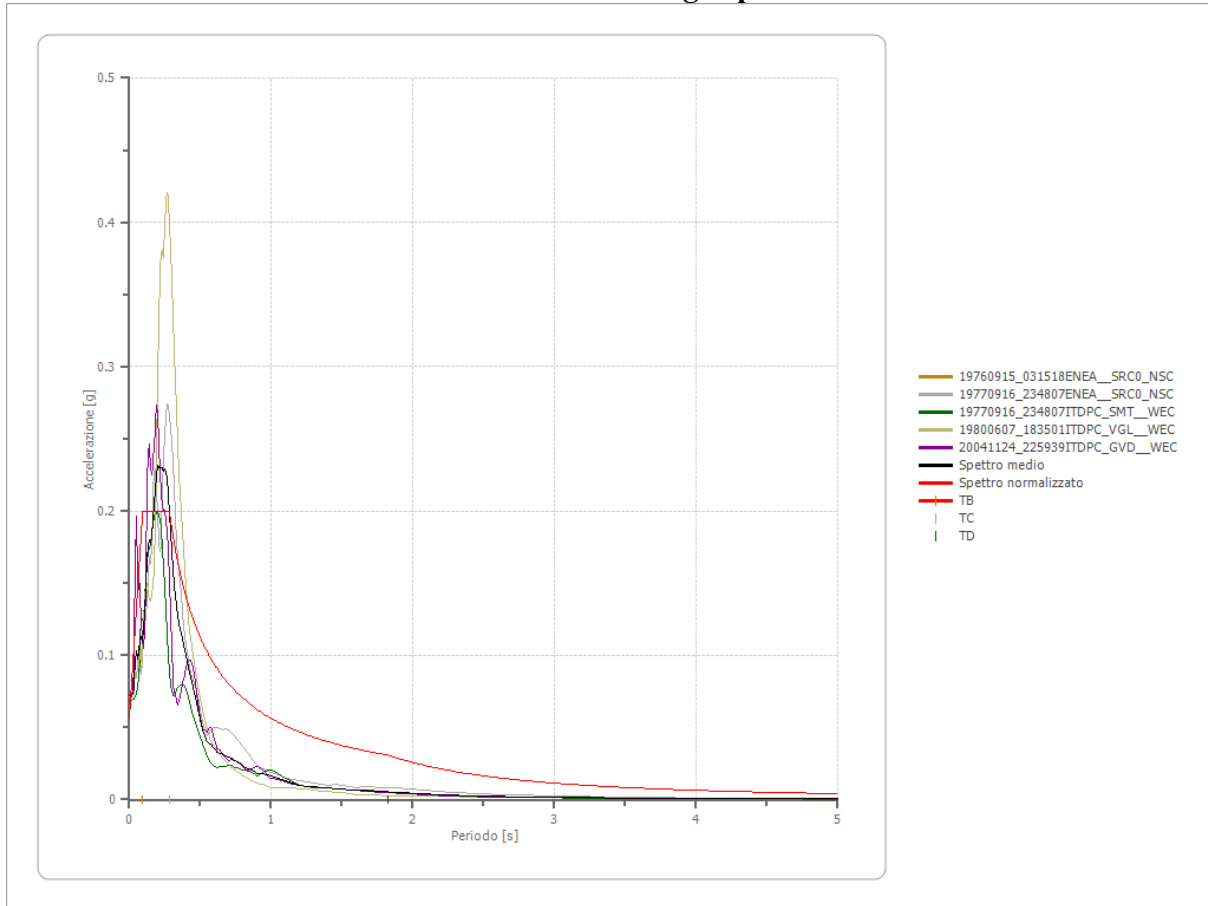
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0565	0.28	0.1999	0.56	0.1004	1.25	0.0450	2.90	0.0194
0.01	0.0718	0.29	0.1938	0.57	0.0986	1.30	0.0432	3.00	0.0187
0.02	0.0871	0.30	0.1873	0.58	0.0969	1.35	0.0416	3.10	0.0181
0.03	0.1024	0.31	0.1813	0.60	0.0937	1.40	0.0401	3.20	0.0176
0.04	0.1177	0.32	0.1756	0.62	0.0906	1.45	0.0388	3.30	0.0170
0.05	0.1330	0.33	0.1703	0.64	0.0878	1.50	0.0375	3.40	0.0165
0.06	0.1483	0.34	0.1653	0.66	0.0852	1.55	0.0363	3.50	0.0161
0.07	0.1636	0.35	0.1606	0.68	0.0826	1.60	0.0351	3.60	0.0156
0.08	0.1789	0.36	0.1561	0.70	0.0803	1.65	0.0341	3.70	0.0152
0.09	0.1942	0.37	0.1519	0.72	0.0781	1.70	0.0331	3.80	0.0148
0.10	0.1999	0.38	0.1479	0.74	0.0759	1.75	0.0321	3.90	0.0144
0.11	0.1999	0.39	0.1441	0.76	0.0739	1.80	0.0312	4.00	0.0141
0.12	0.1999	0.40	0.1405	0.78	0.0721	1.85	0.0304	4.10	0.0137
0.13	0.1999	0.41	0.1371	0.80	0.0703	1.90	0.0296	4.20	0.0134
0.14	0.1999	0.42	0.1338	0.82	0.0685	1.95	0.0288	4.30	0.0131
0.15	0.1999	0.43	0.1307	0.84	0.0669	2.00	0.0281	4.40	0.0128
0.16	0.1999	0.44	0.1277	0.86	0.0654	2.05	0.0274	4.50	0.0125
0.17	0.1999	0.45	0.1249	0.88	0.0639	2.10	0.0268	4.60	0.0122
0.18	0.1999	0.46	0.1222	0.90	0.0624	2.15	0.0261	4.70	0.0120
0.19	0.1999	0.47	0.1196	0.92	0.0611	2.20	0.0255	4.80	0.0117
0.20	0.1999	0.48	0.1171	0.94	0.0598	2.25	0.0250	4.90	0.0115
0.21	0.1999	0.49	0.1147	0.96	0.0585	2.30	0.0244	5.00	0.0112
0.22	0.1999	0.50	0.1124	0.98	0.0573	2.35	0.0239		
0.23	0.1999	0.51	0.1102	1.00	0.0562	2.40	0.0234		
0.24	0.1999	0.52	0.1081	1.05	0.0535	2.50	0.0225		
0.25	0.1999	0.53	0.1060	1.10	0.0511	2.60	0.0216		
0.26	0.1999	0.54	0.1041	1.15	0.0489	2.70	0.0208		
0.27	0.1999	0.55	0.1022	1.20	0.0468	2.80	0.0201		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.056	3.539782	--	0.094	0.281	1.826	0.056	0.200	0.926

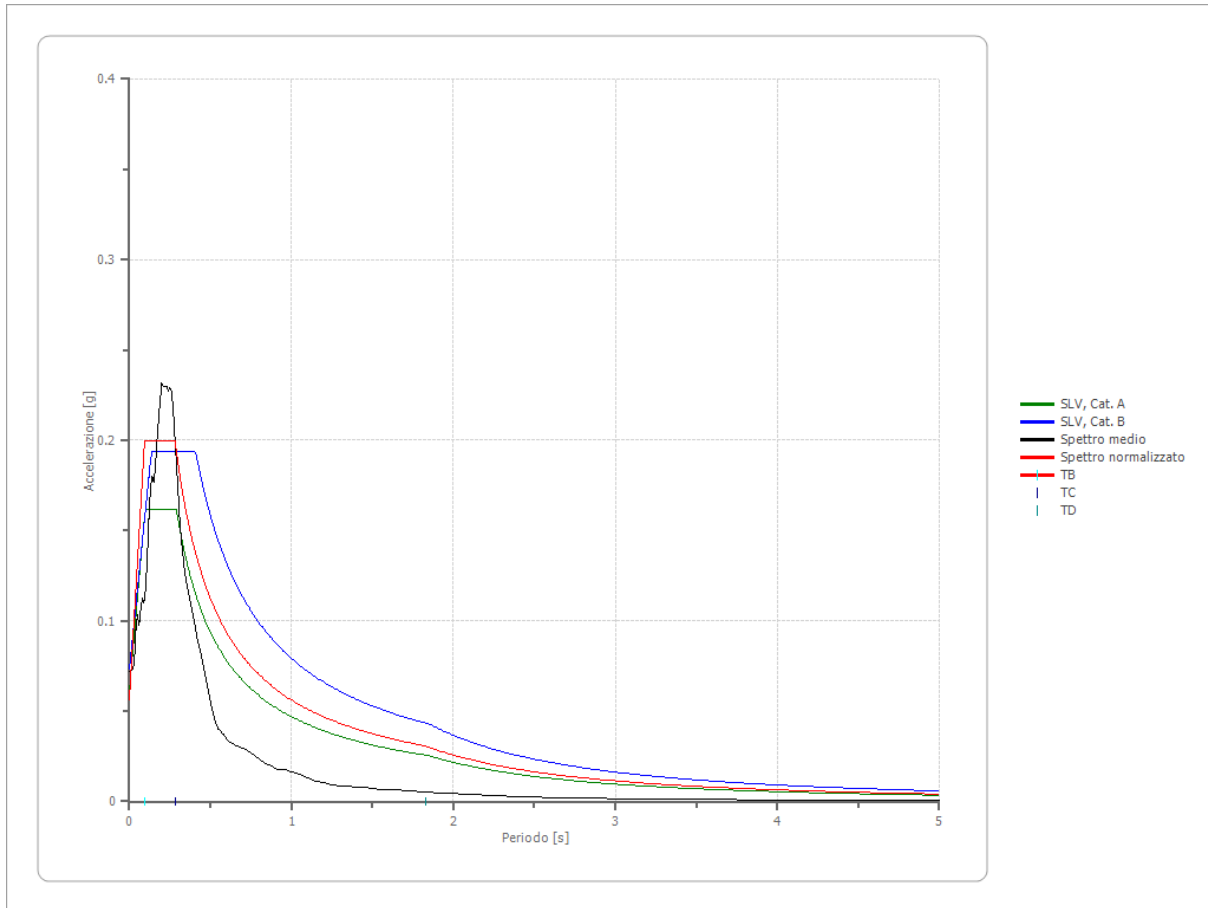
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

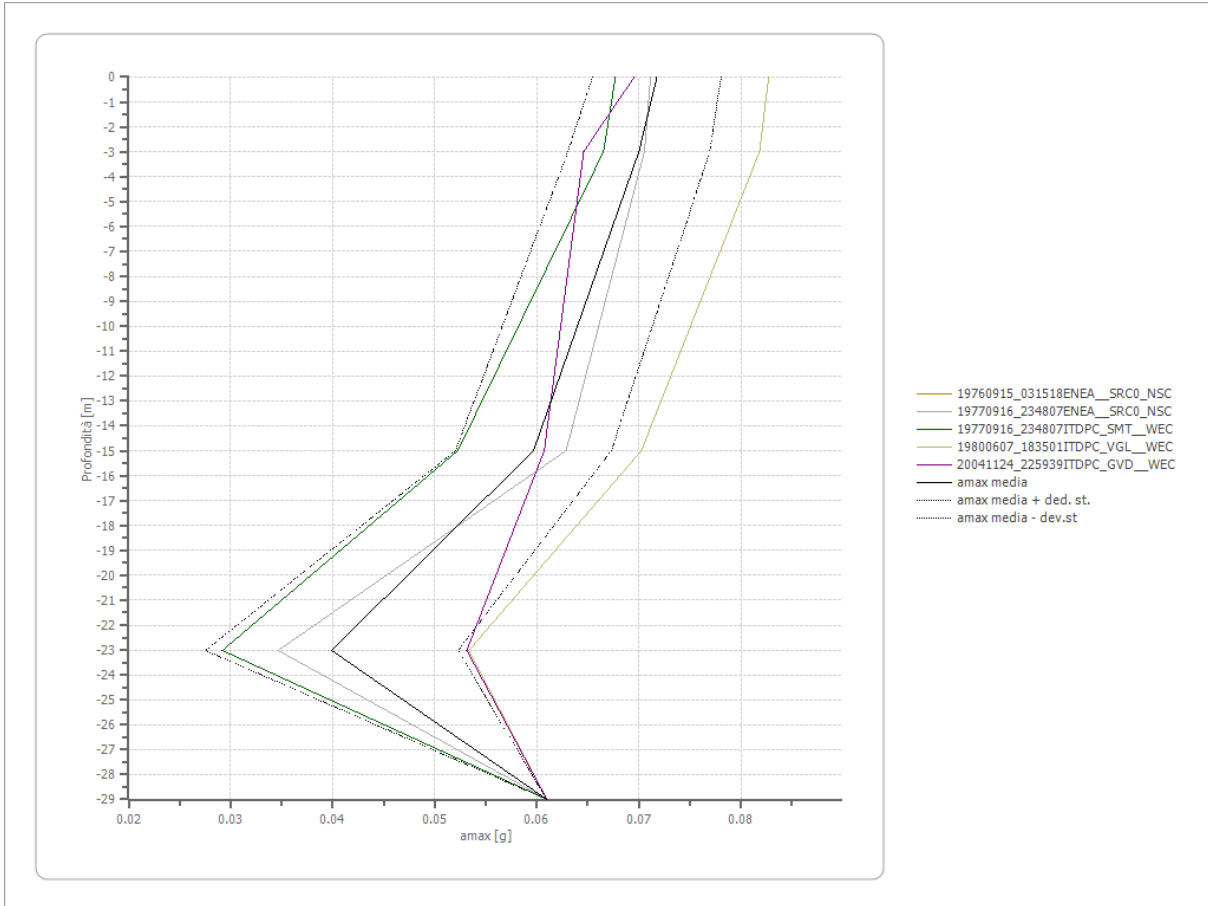
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguar dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.025	0.030	0.061	0.074	0.025	0.030	0.061	0.074
Fo	2.551	2.557	2.65	2.691	2.551	2.557	2.65	2.691
Tc* [s]	0.191	0.212	0.29	0.304	0.191	0.212	0.29	0.304
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.53	1.50	1.41	1.40
TB [s]	0.064	0.071	0.097	0.101	0.098	0.106	0.136	0.141
TC [s]	0.191	0.212	0.290	0.304	0.293	0.318	0.409	0.424
TD [s]	1.700	1.720	1.844	1.896	1.700	1.720	1.844	1.896
Se(0) [g]	0.025	0.030	0.061	0.074	0.030	0.036	0.073	0.089
Se(TB) [g]	0.064	0.077	0.162	0.199	0.077	0.092	0.194	0.239



Profilo a max

	0.0 [m]	3.0 [m]	15.0 [m]	23.0 [m]	29.0 [m]
19760915_031 518ENEA_S RC0_NSC [g]	0.068	0.067	0.052	0.029	0.061
19770916_234 807ENEA_S RC0_NSC [g]	0.071	0.071	0.063	0.035	0.061
19770916_234 807ITDPC_SM T_WEC [g]	0.068	0.067	0.052	0.029	0.061
19800607_183 501ITDPC_VG L_WEC [g]	0.083	0.082	0.070	0.053	0.061
20041124_225 939ITDPC_GV D_WEC [g]	0.070	0.065	0.061	0.053	0.061
media [g]	0.072	0.070	0.060	0.040	0.061
Dev. St. [g]	0.006	0.007	0.008	0.012	0.000



- ✓ **Risposta Sismica Locale eseguita mediante input sismico generato da set rappresentato da n. 7 accelerogrammi estratti da Data Base ITACA**

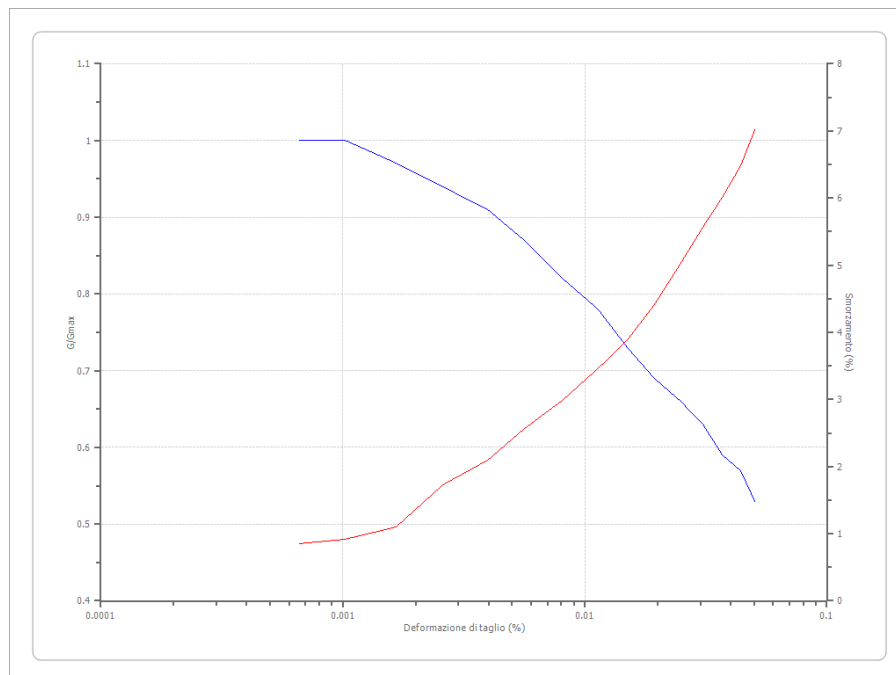
Dati generali

Via Via Rivoltana n. 98, Segrate (MI)
 Latitudine 45.4725075[°]
 Longitudine 9.271229[°]

Terreni

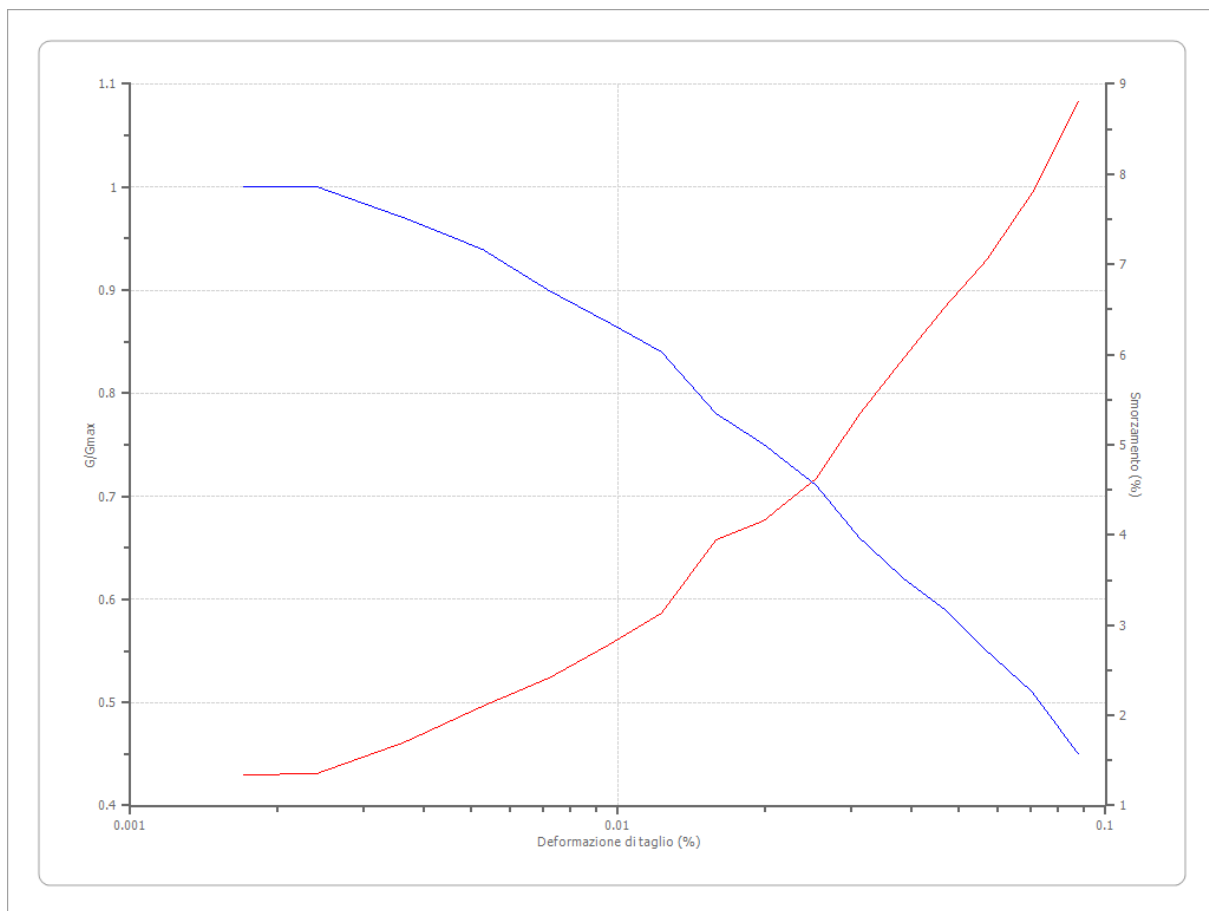
Sabbie limose e argillose Segrate

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00066	1.000	0.00066	0.850
0.00102	1.000	0.00102	0.910
0.00166	0.970	0.00166	1.100
0.00259	0.940	0.00259	1.730
0.00397	0.910	0.00397	2.090
0.00563	0.870	0.00563	2.560
0.00807	0.820	0.00807	2.980
0.01131	0.780	0.01131	3.460
0.01501	0.730	0.01501	3.890
0.01938	0.690	0.01938	4.410
0.02488	0.660	0.02488	5.030
0.03071	0.630	0.03071	5.560
0.03697	0.590	0.03697	6.010
0.04404	0.570	0.04404	6.480
0.05045	0.530	0.05045	7.020



Sabbia ghiaiosa deb. limosa Segrate

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00171	1.000	0.00171	1.340
0.00241	1.000	0.00241	1.350
0.00362	0.970	0.00362	1.690
0.00527	0.940	0.00527	2.100
0.00722	0.900	0.00722	2.410
0.00947	0.870	0.00947	2.770
0.01229	0.840	0.01229	3.130
0.01588	0.780	0.01588	3.940
0.01987	0.750	0.01987	4.160
0.02551	0.710	0.02551	4.630
0.03122	0.660	0.03122	5.330
0.03857	0.620	0.03857	5.960
0.0468	0.590	0.0468	6.530
0.05702	0.550	0.05702	7.050
0.07077	0.510	0.07077	7.800
0.08773	0.450	0.08773	8.810



Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	3.0	713.88	20.5	573.4	32.0
2	3.0	12.0	1248.00	21.5	749.4	135.8
3	15.0	8.0	444.85	20.5	464.8	249.3
4	23.0	6.0	1175.16	21.5	727.2	326.9
5	Semi-spazio	Semi-spazio	1539.65	20.9	900.0	362.8

Tale stratigrafia tiene in considerazione il volume di terreno oggetto di sbancamento.

Elaborazione

Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.39 E-05

Fattori di amplificazione ICMS 2018

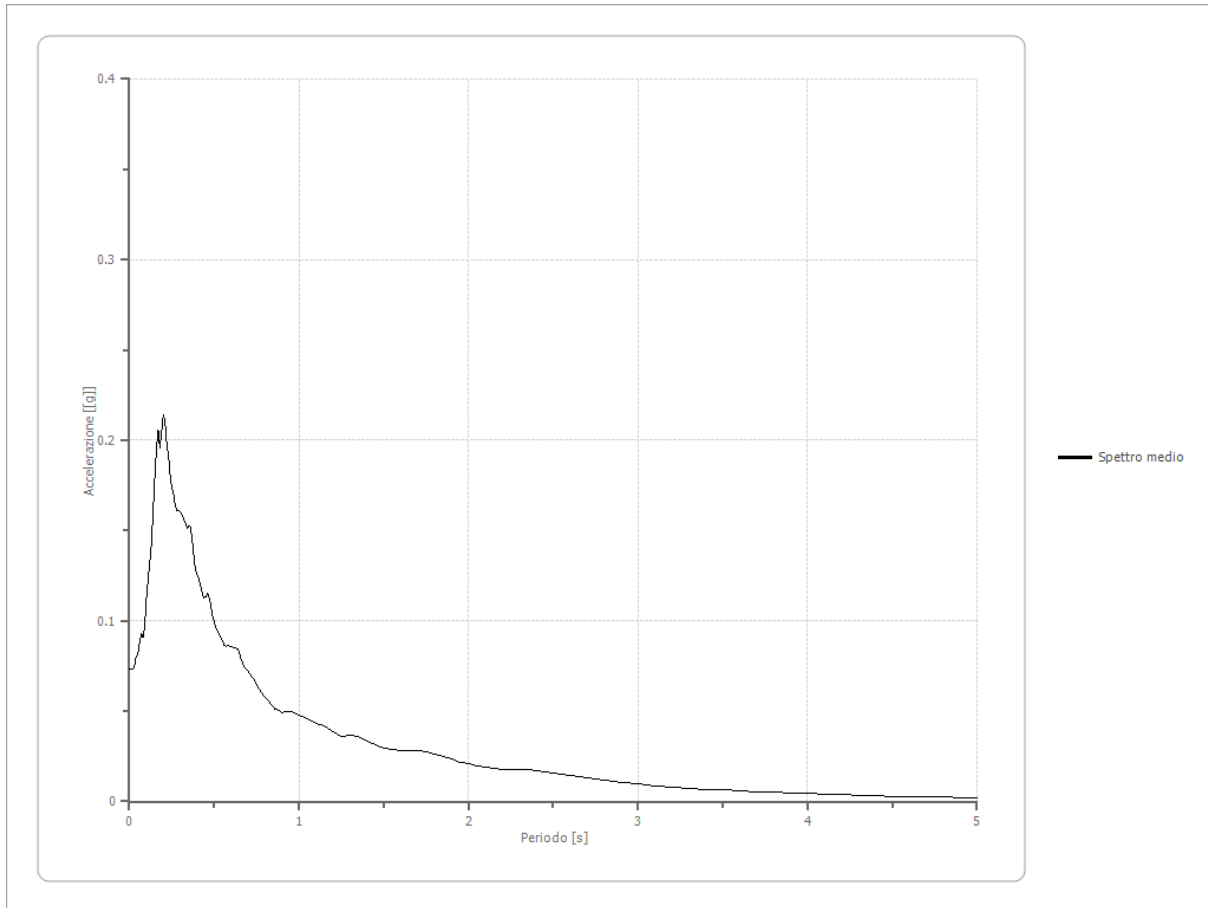
Tai	0.170 [s]
Tvi	1.550 [s]
Tao	0.200 [s]
Tvo	1.550 [s]
Sami	1.340 [m/s ²]
Svmi	0.081 [m/s]
Samo	1.718 [m/s ²]
Svmo	0.085 [m/s]
Fa	1.282 [-]
Fv	1.046 [-]
TB	0.104 [s]
TC	0.312 [s]
TD	1.850 [s]
SA(0)	0.063 [g]
SA(TB)	0.175 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.021	0.026	0.200	1.249
0.500	1.500	0.076	0.081	0.333	1.067

Spettro medio di risposta elastico

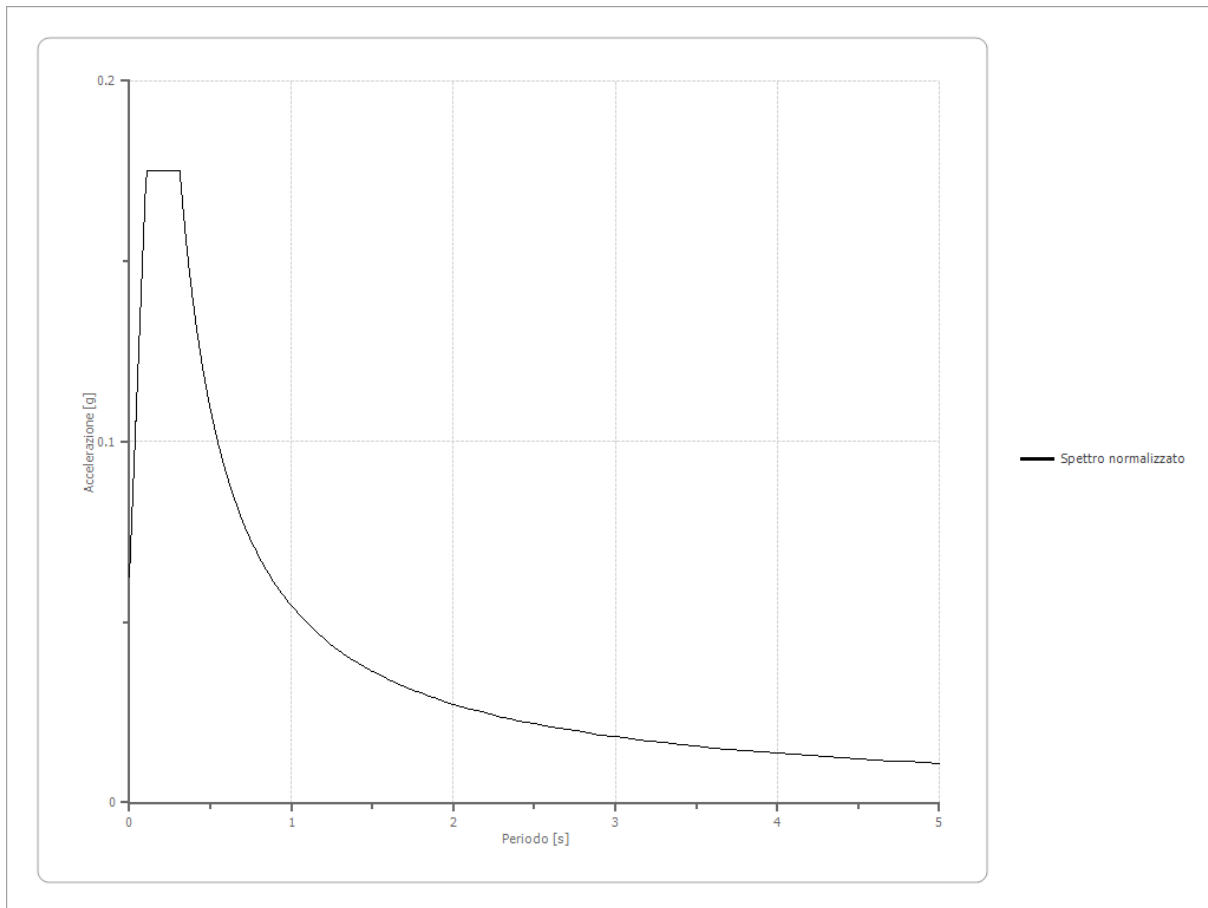
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0733	0.28	0.1608	0.56	0.0867	1.25	0.0360	2.90	0.0106
0.01	0.0733	0.29	0.1608	0.57	0.0860	1.30	0.0366	3.00	0.0095
0.02	0.0733	0.30	0.1607	0.58	0.0865	1.35	0.0359	3.10	0.0085
0.03	0.0749	0.31	0.1585	0.60	0.0860	1.40	0.0336	3.20	0.0078
0.04	0.0805	0.32	0.1566	0.62	0.0851	1.45	0.0312	3.30	0.0071
0.05	0.0813	0.33	0.1544	0.64	0.0841	1.50	0.0295	3.40	0.0066
0.06	0.0874	0.34	0.1512	0.66	0.0787	1.55	0.0287	3.50	0.0063
0.07	0.0929	0.35	0.1528	0.68	0.0740	1.60	0.0281	3.60	0.0059
0.08	0.0908	0.36	0.1521	0.70	0.0722	1.65	0.0284	3.70	0.0055
0.09	0.0962	0.37	0.1453	0.72	0.0692	1.70	0.0279	3.80	0.0051
0.10	0.1120	0.38	0.1352	0.74	0.0665	1.75	0.0275	3.90	0.0048
0.11	0.1227	0.39	0.1279	0.76	0.0630	1.80	0.0261	4.00	0.0044
0.12	0.1319	0.40	0.1257	0.78	0.0600	1.85	0.0248	4.10	0.0041
0.13	0.1430	0.41	0.1228	0.80	0.0573	1.90	0.0234	4.20	0.0038
0.14	0.1611	0.42	0.1190	0.82	0.0554	1.95	0.0219	4.30	0.0035
0.15	0.1799	0.43	0.1151	0.84	0.0528	2.00	0.0209	4.40	0.0032
0.16	0.1955	0.44	0.1125	0.86	0.0513	2.05	0.0198	4.50	0.0029
0.17	0.2057	0.45	0.1130	0.88	0.0503	2.10	0.0189	4.60	0.0027
0.18	0.1956	0.46	0.1149	0.90	0.0492	2.15	0.0181	4.70	0.0025
0.19	0.2047	0.47	0.1135	0.92	0.0496	2.20	0.0176	4.80	0.0023
0.20	0.2143	0.48	0.1084	0.94	0.0500	2.25	0.0178	4.90	0.0022
0.21	0.2105	0.49	0.1028	0.96	0.0497	2.30	0.0179	5.00	0.0021
0.22	0.1984	0.50	0.0996	0.98	0.0485	2.35	0.0177		
0.23	0.1918	0.51	0.0963	1.00	0.0477	2.40	0.0171		
0.24	0.1812	0.52	0.0940	1.05	0.0459	2.50	0.0157		
0.25	0.1738	0.53	0.0926	1.10	0.0432	2.60	0.0146		
0.26	0.1700	0.54	0.0903	1.15	0.0416	2.70	0.0131		
0.27	0.1636	0.55	0.0888	1.20	0.0386	2.80	0.0118		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0625	0.28	0.1751	0.56	0.0974	1.25	0.0436	2.90	0.0188
0.01	0.0733	0.29	0.1751	0.57	0.0957	1.30	0.0420	3.00	0.0182
0.02	0.0842	0.30	0.1751	0.58	0.0941	1.35	0.0404	3.10	0.0176
0.03	0.0950	0.31	0.1751	0.60	0.0909	1.40	0.0390	3.20	0.0170
0.04	0.1059	0.32	0.1705	0.62	0.0880	1.45	0.0376	3.30	0.0165
0.05	0.1167	0.33	0.1653	0.64	0.0852	1.50	0.0364	3.40	0.0160
0.06	0.1275	0.34	0.1605	0.66	0.0827	1.55	0.0352	3.50	0.0156
0.07	0.1384	0.35	0.1559	0.68	0.0802	1.60	0.0341	3.60	0.0152
0.08	0.1492	0.36	0.1515	0.70	0.0779	1.65	0.0331	3.70	0.0147
0.09	0.1601	0.37	0.1474	0.72	0.0758	1.70	0.0321	3.80	0.0144
0.10	0.1709	0.38	0.1436	0.74	0.0737	1.75	0.0312	3.90	0.0140
0.11	0.1751	0.39	0.1399	0.76	0.0718	1.80	0.0303	4.00	0.0136
0.12	0.1751	0.40	0.1364	0.78	0.0699	1.85	0.0295	4.10	0.0133
0.13	0.1751	0.41	0.1331	0.80	0.0682	1.90	0.0287	4.20	0.0130
0.14	0.1751	0.42	0.1299	0.82	0.0665	1.95	0.0280	4.30	0.0127
0.15	0.1751	0.43	0.1269	0.84	0.0649	2.00	0.0273	4.40	0.0124
0.16	0.1751	0.44	0.1240	0.86	0.0634	2.05	0.0266	4.50	0.0121
0.17	0.1751	0.45	0.1212	0.88	0.0620	2.10	0.0260	4.60	0.0119

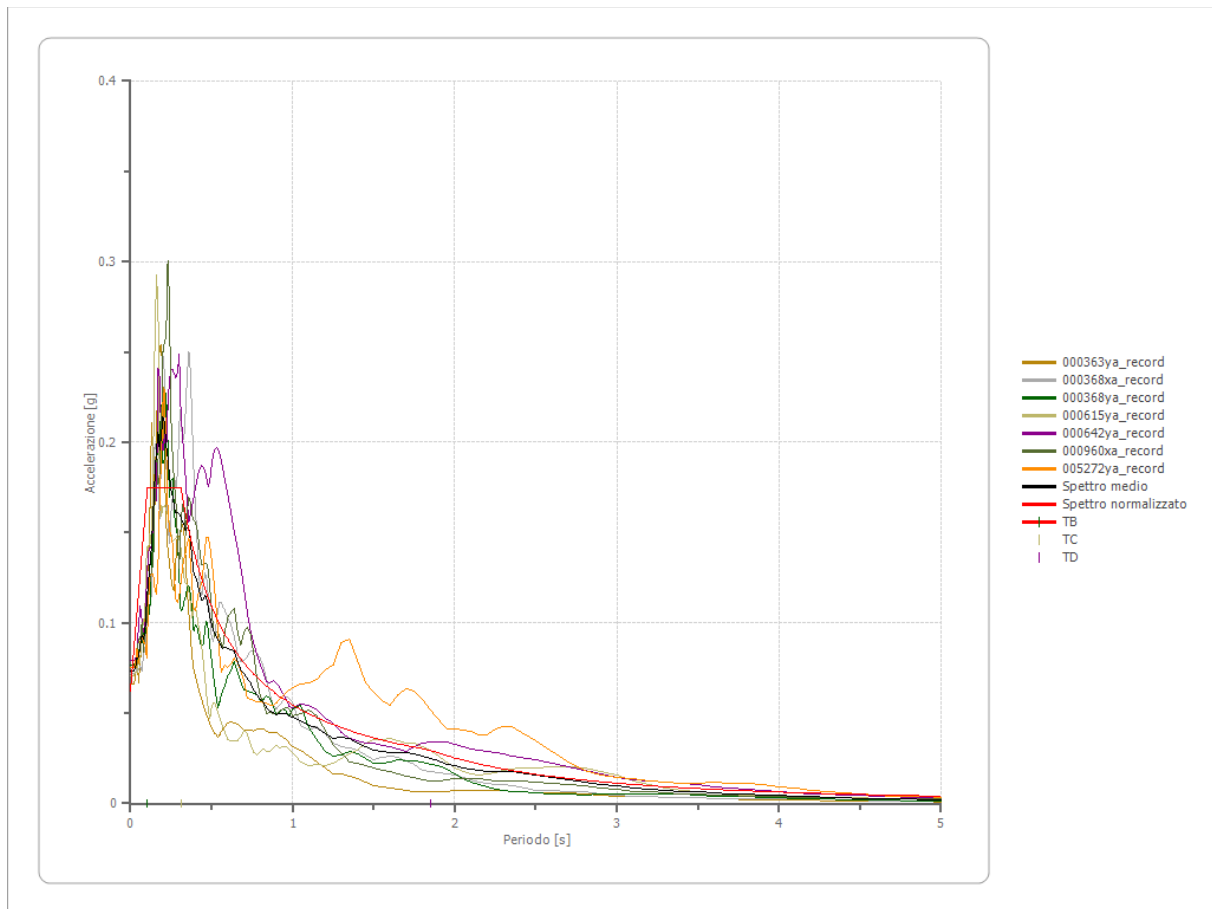
0.18	0.1751	0.46	0.1186	0.90	0.0606	2.15	0.0254	4.70	0.0116
0.19	0.1751	0.47	0.1161	0.92	0.0593	2.20	0.0248	4.80	0.0114
0.20	0.1751	0.48	0.1137	0.94	0.0580	2.25	0.0242	4.90	0.0111
0.21	0.1751	0.49	0.1113	0.96	0.0568	2.30	0.0237	5.00	0.0109
0.22	0.1751	0.50	0.1091	0.98	0.0557	2.35	0.0232		
0.23	0.1751	0.51	0.1070	1.00	0.0546	2.40	0.0227		
0.24	0.1751	0.52	0.1049	1.05	0.0520	2.50	0.0218		
0.25	0.1751	0.53	0.1029	1.10	0.0496	2.60	0.0210		
0.26	0.1751	0.54	0.1010	1.15	0.0474	2.70	0.0202		
0.27	0.1751	0.55	0.0992	1.20	0.0455	2.80	0.0195		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.063	2.801365	--	0.104	0.312	1.850	0.063	0.175	1.025

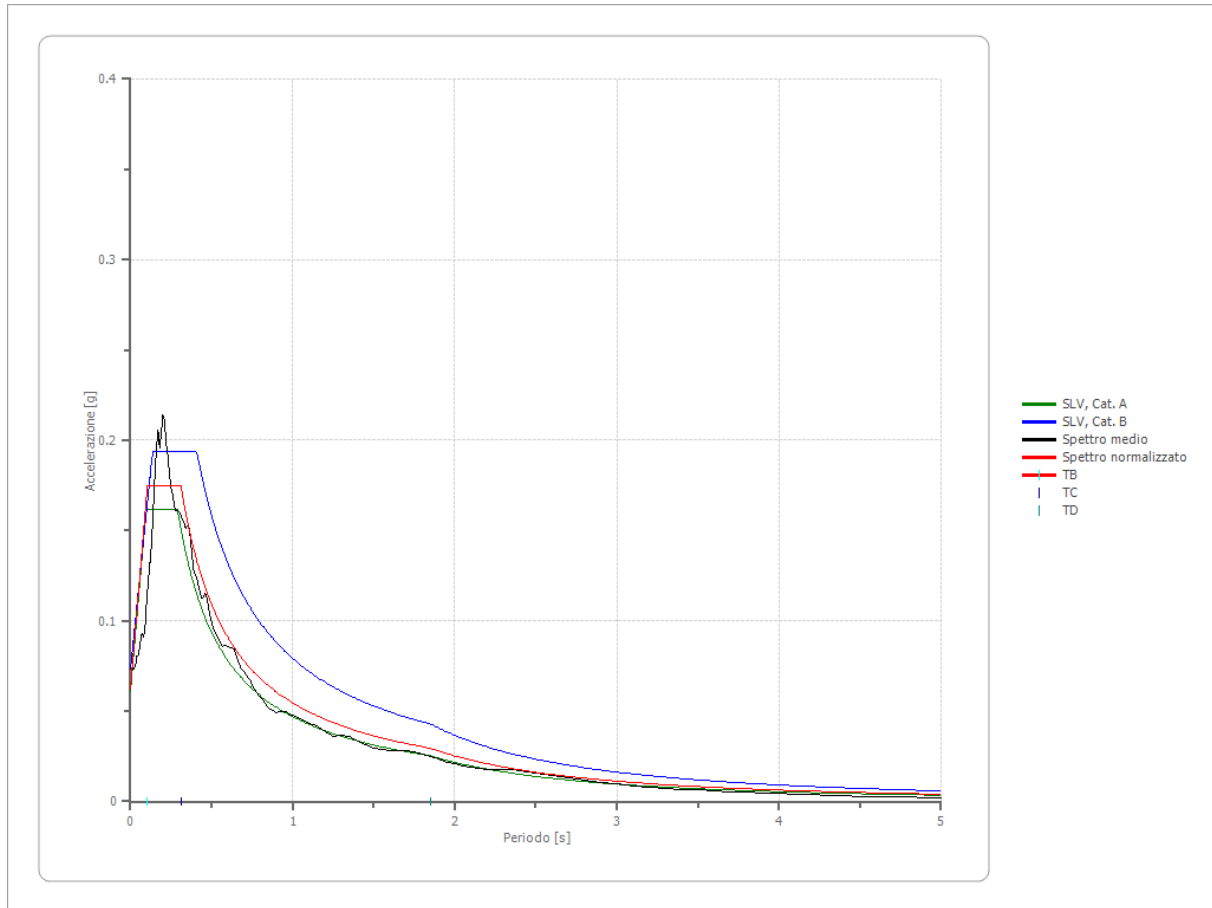
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

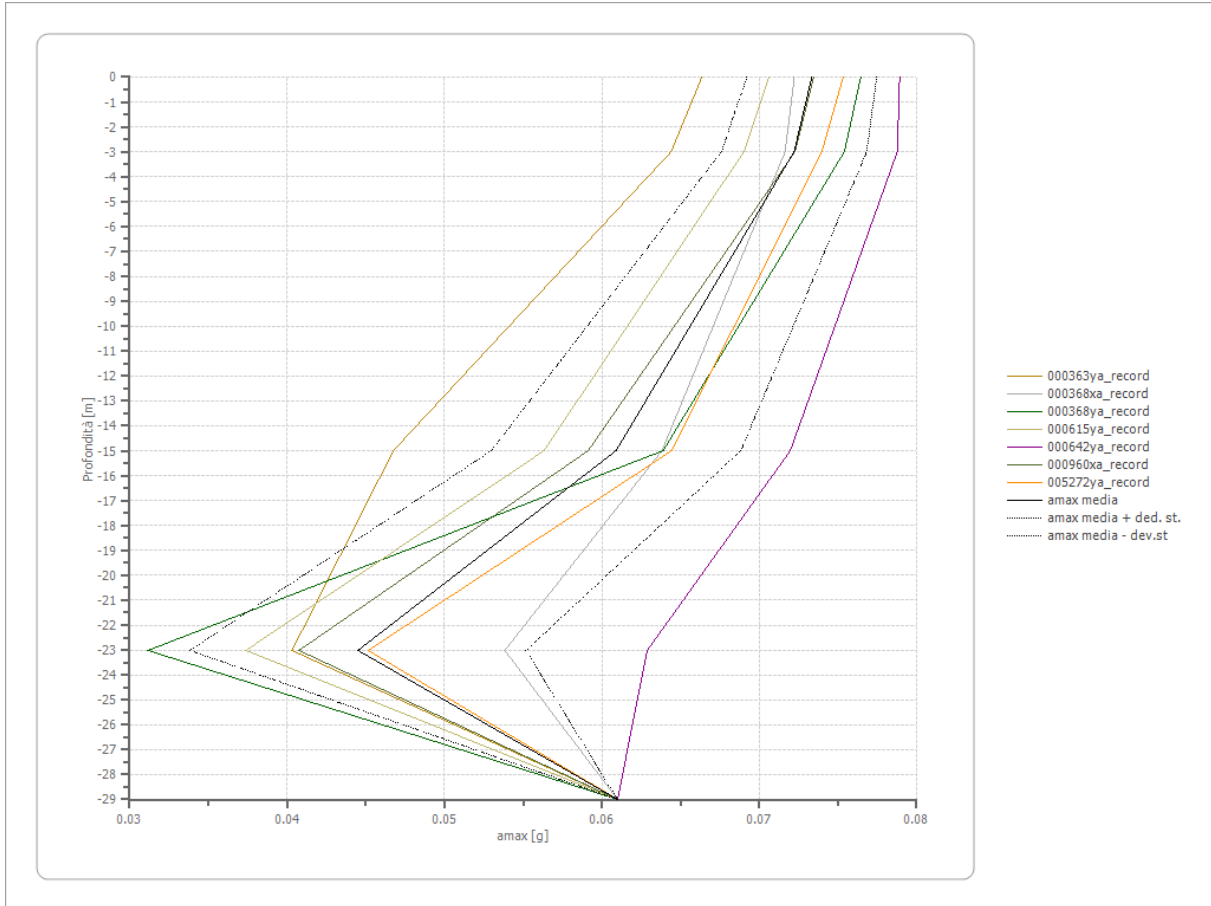
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.025	0.030	0.061	0.074	0.025	0.030	0.061	0.074
Fo	2.551	2.557	2.65	2.691	2.551	2.557	2.65	2.691
Tc* [s]	0.191	0.212	0.29	0.304	0.191	0.212	0.29	0.304
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.53	1.50	1.41	1.40
TB [s]	0.064	0.071	0.097	0.101	0.098	0.106	0.136	0.141
TC [s]	0.191	0.212	0.290	0.304	0.293	0.318	0.409	0.424
TD [s]	1.700	1.720	1.844	1.896	1.700	1.720	1.844	1.896
Se(0) [g]	0.025	0.030	0.061	0.074	0.030	0.036	0.073	0.089
Se(TB) [g]	0.064	0.077	0.162	0.199	0.077	0.092	0.194	0.239



Profilo a max

	0.0 [m]	3.0 [m]	15.0 [m]	23.0 [m]	29.0 [m]
000363ya_reco rd [g]	0.066	0.064	0.047	0.040	0.061
000368xa_reco rd [g]	0.072	0.072	0.064	0.054	0.061
000368ya_reco rd [g]	0.076	0.075	0.064	0.031	0.061
000615ya_reco rd [g]	0.071	0.069	0.056	0.037	0.061
000642ya_reco rd [g]	0.079	0.079	0.072	0.063	0.061
000960xa_reco rd [g]	0.073	0.072	0.059	0.041	0.061
005272ya_reco rd [g]	0.075	0.074	0.064	0.045	0.061
media [g]	0.073	0.072	0.061	0.044	0.061
Dev. St. [g]	0.004	0.005	0.008	0.011	0.000



✓ **Considerazioni sullo studio di Risposta Sismica Locale**

A) Studio di Risposta Sismica Locale eseguito con utilizzo degli accelerogrammi estratti dal data base della Regione Lombardia:

- si ottiene un leggero superamento dello spettro di normativa ed i seguenti Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.020	0.026	0.200	1.288
0.500	1.500	0.032	0.038	0.333	1.158

B) Studio di Risposta Sismica Locale eseguito con utilizzo degli accelerogrammi estratti dal data base ITACA e conforme al DM 17.01.2018:

- si ottiene uno spettro di RSL inferiore allo spettro di normativa ed i seguenti Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.021	0.026	0.200	1.249
0.500	1.500	0.076	0.081	0.333	1.067

Pertanto si rimanda al progettista la scelta dello spettro sismico da adottare per le verifiche di calcolo.

Conclusioni

Nell'area in esame, sita in Via Rivoltana 98 nel Comune di Segrate (MI), Foglio n. 35 Particelle 67-70-71-72, è previsto il Progetto “Riqualificazione urbana mediante l’abbattimento e la ricostruzione di un edificio da destinare ad attività ricettiva”.

Secondo la carta dei caratteri geologici e geomorfologici allegata alla componente geologica del PGT vigente del Comune di Segrate (MI), l'area in questione è caratterizzata dalla presenza in affioramento della seguente unità stratigrafica:

- Sintema di Cantù (Pleistocene superiore), la quale è costituita da depositi fluvioglaciali.

Al fine di definire l'assetto stratigrafico ed arrivare ad una esaustiva formulazione del modello geologico del sito è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche avente la seguente consistenza:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo,

S1 profondità di 30 m – attrezzato a piezometro

S2 profondità di 45 m – attrezzato per esecuzione indagine sismica Down-Hole

S3 profondità di 30 m – attrezzato a piezometro

S4 profondità di 45 m

- n. 58 prove SPT in foro

- n. 8 prove di permeabilità Lefranc eseguite in foro

- n. 1 prova di pompaggio

- n. 1 slug-test

- n. 18 prelievo di campioni ed analisi di laboratorio e relative prove di laboratorio

- n. 1 indagine sismica Down-Hole

- n. 1 indagine sismica MASW

- n. 1 indagine sismica HVSR

- n. 2 indagini sismiche a rifrazione in Onde P

Le indagini geognostiche eseguite hanno consentito di definire il presente assetto stratigrafico

UG1 (Unità Geotecnica 1) – depositi sabbiosi con alternanze di frazioni ghiaiose e limoso argillose

UG2 (Unità Geotecnica 2) – depositi ghiaiosi con matrice variabile in termini di frazione sabbiosa e limoso argillosa

UG3 (Unità Geotecnica 3) – depositi limosi con sabbia e argilla

La categoria di sottosuolo definita ai sensi del DM 17.01.2018 è afferente alla classe B

A completamento di tale campagna geognostica sono state eseguite ulteriori indagini con esclusivo interesse di acquisire informazioni sulla caratterizzazione ambientale del sottosuolo ai sensi del D.Lgs 152/2006. A tale scopo sono state eseguite le seguenti prove:

- n. 3 sondaggi ambientali:

S5 profondità 7 m

S6 profondità 7 m

S7 profondità 7 m

- analisi ambientali sui campioni prelevati e sulle acque di falda

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica del P.G.T. vigente del Comune di Segrate (MI), l'area in esame appartiene alla classe di fattibilità 3c per cui è prevista una fattibilità con consistenti limitazioni. Si tratta in particolare di siti oggetto di Piani di Caratterizzazione e Progetti di Bonifica a diversi stadi di attuazione; e si tratta inoltre di siti bonificati ai sensi del D.Lgs 152/06, da sottoporre, in caso di dismissione o cambio di destinazione d'uso, a verifica dello stato di contaminazione con limiti di riferimento più restrittivi rispetto agli obiettivi raggiunti con la bonifica. In tali aree, da un punto di vista idrogeologico, laddove la soggiacenza della falda è < di 5 m dal p.c., è possibile l'interazione degli scavi con la superficie piezometrica.

Secondo la carta dei vincoli, allegata alla componente geologica del P.G.T. vigente del Comune di Segrate (MI), nell'area in esame non è presente alcun vincolo.

Secondo la carta di sintesi degli elementi conoscitivi, allegata alla componente geologica del P.G.T. vigente del Comune di Segrate (MI), per l'area di interesse non si evidenziano condizioni pericolosità idraulica.

Secondo la carta idrogeologica, allegata alla componente geologica del P.G.T. vigente del Comune di Segrate (MI), nell'area in esame la superficie della falda freatica è situata ad una profondità di 6

m dal p.c. (quota isopiezometrica 106 m slm). Nei fori di sondaggio S1 ed S3 sono stati installati dei piezometri, il relativo monitoraggio eseguito tra Marzo e Luglio 2019, ha restituito valori indicativi di un escursione della quota di falda variabile tra 5,27 e 5,90 m.

Nell'ambito del presente studio geologico si è proceduto ad eseguire un approfondimento sismico del terzo livello, il quale nel particolare è consistito nell'esecuzione di uno Studio di Risposta Sismica Locale. Da cui non si individuano condizioni locali di amplificazione sismica e gli spettri di RSL normalizzati sono comparabili con quanto definito dalla normativa.

- Aspetti ambientali

Secondo la carta di sintesi degli elementi conoscitivi, allegata alla componente geologica del P.G.T. vigente del Comune di Segrate (MI), l'area di interesse è classificata con codifica AMB 13. Ovvero, area con procedimento e/o bonifica conclusa (concentrazioni al sito superiori alla CSC per la destinazione industriale/commerciale, ma inferiori alla CSR).

Le indagini ambientali eseguite nell'ambito della presente progettazione hanno evidenziato potenziali evidenze di contaminazione del suolo relativamente a Idrocarburi C>12 e Piombo. Inoltre in corrispondenza dei piezometri S1 ed S3, sono stati prelevati campioni di acqua di falda. Le seguenti analisi hanno rilevato concentrazioni elevate di Alluminio. La vicinanza dell'area di interesse con la sede ferroviaria, fa desumere in prima istanza, che la sorgente della contaminazione sia da individuarsi nell'area di proprietà di RFI, e può derivare da una lavorazione specifica o da un impianto di trattamento/depurazione acque non correttamente funzionante.

Pertanto alla luce di quanto descritto si evince che l'area di interesse è potenzialmente contaminata e dunque si deve redigere apposito piano di caratterizzazione. Tale documento, vista anche l'anomalia registrata nei campioni di falda in merito alla concentrazione di Alluminio, sarà presumibilmente da estendere all'intera area RFI con individuazione e delimitazione della sorgente della contaminazione e successiva analisi del rischio sito specifico.

In tal caso bisogna comunque tenere presente che il sito per il quale è in progetto l'abbattimento e la ricostruzione di un nuovo Hotel non è direttamente sede di attività produttiva e la nuova destinazione d'uso sarà di tipo residenziale.

- Considerazioni di compatibilità del modello geologico con le opere in progetto

La realizzazione delle opere in progetto prevede un importante sbancamento di volume di terreno poiché il piano fondale della struttura è posto ad oltre 10 m di profondità. Pertanto, da quanto sopra descritto si evince un'interazione tra lo scavo e la falda idrica. Dunque, al fine di preservare le condizioni di stabilità, devono essere previsti gli opportuni interventi di aggotamento della falda. In questo modo dovrà essere generato un abbassamento della quota piezometrica oltre quella di fondo scavo; considerando le escursioni della falda individuate attraverso il monitoraggio piezometrico, dovranno realizzarsi interventi volti all'impermeabilizzazione della struttura. Gli sbancamenti dovranno essere condotti dopo valutazioni tecniche sulla stabilità dei fronti di scavo, inoltre le opere di contenimento del terreno dovranno tenere in considerazione la vicinanza del sito con la Strada Provinciale Rivoltana e con la rete ferroviaria, ed essere progettate in modo da evitare interazioni tra gli scavi e tali infrastrutture.

La condizione di potenziale contaminazione del sito vincola le scelte progettuali ed indirizza le stesse secondo criteri che debbano tenere in considerazione tale stato dei luoghi. La scelta di realizzare parte della struttura in condizioni interrato, comporta lo sbancamento di un volume di terreno tramite il quale si elimina la problematica di contaminazione del suolo, poiché quei livelli saranno oggetto di rimozione. Tuttavia essendo la falda idrica potenzialmente contaminata, le operazioni di scavo possono essere eseguite soltanto in due condizioni: A) dopo la fase di bonifica B) in contemporanea con la fase di bonifica.

Agosto 2019

Il Tecnico incaricato
Geol. Monteleone Domenico