
ITI STUDIO

ITISudio s.r.l
Via Schiaparelli 18
20125 Milano
Tel.: .02.29525265
iti@itistudio.com
www.itistudio.com

COMMITTENTE

R E D O

REDO SGR S.p.A - Società Benefit
in nome e per conto del
Fondo Immobiliare di Lombardia -
Comparto Uno
Viale Vittorio Veneto 2 20142 Milano
Tel.: 02 30372 800
info@redosgr.it

P.I.I. QUARTIERE DELLA STAZIONE

Commessa:
FIL1.SGR

File: relazione fattibilità
geologica.pdf

Data emissione:
22/04/2022

VARIANTE rev Mar 2023

RELAZIONE GEOLOGICA

RELAZIONE GEOTECNICA

Cod. elaborato:

FG2 - T05

Città di Segrate
Città metropolitana di Milano



REDO SGR S.p.A. - Società Benefit

P.I.I. Quartiere Stazione
Richiesta di permesso di costruire per opere di urbanizzazione
Opere di urbanizzazione Lotto 1 e Lotto 6

RELAZIONE GEOLOGICA R1 AI SENSI DELLE NTC 2018 CAP. 6.1.2

RELAZIONE GEOTECNICA R2 AI SENSI DEL DM 17/01/2018 (NTC2018) CAP. 6.2.2

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITÀ R3 AI SENSI DELLA DGR 2616/2011 CAP. 4

Bergamo 22 APRILE 2022

Arnaldo Zanchi Geologo

ERA Società Cooperativa

Via Promessi Sposi 24/B

24127 Bergamo

Tel. 035/2652801

E-mail: arnaldo.zanchi@era.cc



INDICE

1. PREMESSA3

2. DOCUMENTAZIONE CONSULTATA4

3. RELAZIONE GEOLOGICA (DGR 2616/2011 CAP. 4 E DM 17/01/2018)5

3.1. COROGRAFIA DEL SITO5

3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE6

3.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO7

3.4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO7

3.5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO9

3.5.3. *Caratterizzazione Idrogeologica nel Territorio Comunale*..... 11

3.5.4. *Piezometria e Soggiacenza Della Falda Acquifera*..... 11

3.6. INDAGINI DI SITO SVOLTE12

3.7. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO13

3.7.1. *Categoria Sismica del Sottosuolo*13

3.8. PERICOLOSITÀ SISMICA14

3.8.1. *Vita Nominale, Classi d’Uso e Periodo di Riferimento* 14

3.8.2. *Stati Limite, Probabilità di Ritorno e Periodo di Riferimento* 15

3.8.3. *Definizione Della Pericolosità Sismica di Base* 17

3.8.4. *Pericolosità Sismica di Sito* 19

3.8.4.1. *Coefficienti sismici*20

3.8.4.2. *Stabilità dei pendii e fondazioni*.....20

3.8.5. *Risultati*21

3.8.5.1. *Pericolosità sismica di base*.....21

3.8.5.2. *Pericolosità sismica di sito*.....22

3.9. PERICOLOSITÀ SISMICA AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016.....24

3.9.1. *Analisi Sismica di Primo Livello*.....24

3.9.2. *Analisi di Secondo Livello*24

3.10. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE25

3.11. VERIFICA DI FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016.....26

3.11.1. *Carta dei Vincoli*.....26

3.11.2. *Carta Della Fattibilità per le Azioni di Piano*27

4. RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/08 CAP 6.2.2)28

4.1. PROFILO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO28

4.1.1. *Profilo Stratigrafico*.....28

4.1.2. *Caratterizzazione Geotecnica*.....29

5. CONCLUSIONI31

ALLEGATO A : Indagini MASW

1. PREMESSA

Su incarico della Committente è stata eseguita una revisione e adeguamento della precedente relazione emessa da REDO SGR S.p.A. - Società Benefit nel Gennaio 2022 che riprendeva lo Studio di Fattibilità Geologica (FG2 T05 - Variante al P.I.I. anno 2018) emesso da IC Srl nel maggio 2018.

Con riferimento agli elaborati indicati dalla DGR 5001/2016 di Regione Lombardia sono state redatte:

- la relazione geologica di fattibilità R3 ai sensi della DGR 2616/2011 cap. 4
- la relazione geologica R1 ai sensi del DM 17/01/2018 (NTC) cap. 6.1.2 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito"
- la relazione geotecnica R2 ai sensi del DM 14/01/2008 (NTC) cap. 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica"

Considerato che i contenuti delle relazioni in parte si sovrappongono e che la loro redazione è stata affidata ad un unico soggetto, esse sono state unite in una sola relazione, che nella procedura informatica prevista dalla Regione Lombardia per il deposito delle pratiche sismiche potrà essere allegato nelle 3 posizioni previste per questi 3 elaborati.



Fig. 1: Corografia su ortofoto

2. DOCUMENTAZIONE CONSULTATA

- Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018 (Circolare n 7 del 21 Gennaio 2019)
- Nuove norme tecniche delle costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018);
- D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015);
- 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;
- Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008 (Circolare n 617 del 2 Febbraio 2009)
- Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (OPCM n.3519 del 28/04/2006);
- Città di Segrate "Relazione illustrativa e Norme geologiche di piano" - Studio idrogeotecnico Srl - 2016
- REDO SGR S.p.A. "P.I.I. Quartiere Stazione Opere di urbanizzazione lotto 1 e lotto 6- Studio di Fattibilità Geologica (elaborato FG2 T05 - Variante al P.I.I. anno 2018)" - IC Srl 2018

3. RELAZIONE GEOLOGICA (DGR 2616/2011 CAP. 4 E DM 17/01/2018)

La relazione geologica di fattibilità ai sensi della DGR 2616/2011 è finalizzata a valutare la fattibilità del progetto in rapporto agli elementi di criticità e vincolistica geologica individuati nello strumento urbanistico comunale.

La relazione geologica per il progetto esecutivo ai sensi del DM 17/01/2018 è finalizzata ad analizzare le caratteristiche geomorfologiche, litologiche, stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche, sismiche dell'area oggetto dell'intervento; scopo della relazione geologica è quello di redigere un modello geologico di riferimento a supporto della progettazione geotecnica.

3.1. COROGRAFIA DEL SITO

L'area oggetto dello studio è localizzata nel territorio di Segrate tra le vie Caravaggio ad Ovest e via Morandi ad Est.



Fig. 2: Tavola di progetto Novembre 2021

3.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Il territorio del Comune di Segrate si trova nel settore centro-occidentale della Pianura Padana e più precisamente nelle fascia della "media pianura" lombarda.

L'assetto geologico di gran parte della Pianura Padana è rappresentato dalla sovrapposizione di una coltre di sedimenti depositatasi in ambiente continentale che raggiunge nella zona assiale anche 200÷300 metri di spessore e che poggia su di un substrato marino piegato e fagliato.

L'evoluzione geologica pliocenico quaternaria del bacino padano può essere schematizzata in tre diverse fasi che si succedettero nei seguenti intervalli temporali: Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, Pleistocene e Olocene.

Dal Pliocene superiore al Pleistocene inferiore si verificò una fase di regressione marina coincidente con il sollevamento della pianura che iniziò nel Piemonte occidentale e si estese gradualmente in direzione orientale. Tale evento portò all'emersione di un'area che era delimitata verso est grossomodo da una linea congiungente il Bresciano con il Pavese occidentale. Nella restante parte di pianura si ebbero temporanee emersioni durante le glaciazioni ma la sedimentazione sostanzialmente avvenne in ambiente marino fino ad epoca recente in quanto il sollevamento fu meno accentuato rispetto al settore occidentale.

Le caratteristiche litologiche e tessiturali dei depositi del Villafranchiano comprendenti limi, sabbie fini e argille con frequenti torbe e bancate grossolane oppure estesi livelli di sabbie, testimoniano che nel settore occidentale della Pianura Padana la sedimentazione avvenne in ambienti continentali, comprendenti pianure alluvionali, bacini lacustri, delta fluviali e pianure costiere.

L'unità villafranchiana è stata quindi sottoposta ad un marcato sollevamento ed è stata parzialmente erosa e profondamente incisa. La superficie erosionale è stata successivamente ricoperta dai sedimenti fluvioglaciali e alluvionali del Pleistocene superiore e dell'Olocene attualmente affioranti nella Pianura Padana.

Il Pleistocene fu caratterizzato da intense variazioni climatiche legate al verificarsi delle glaciazioni che comportarono l'alternarsi di processi di deposizione e di erosione. In questa seconda fase, durante gli episodi glaciali del Mindel, del Riss e del Wurm si depositò una vasta coltre di sedimenti fluvioglaciali, mentre i sedimenti alluvionali risultano associati alla presenza di ghiacciai in fase di ritiro. In concomitanza alla presenza di ghiacciai in espansione, i corsi d'acqua svolgevano prevalentemente un'azione di trasporto e deposizione dei materiali originati dalla progressiva disgregazione delle catene alpina e appenninica, mentre nelle epoche post-glaciali i fiumi approfondivano ed ampliavano il loro corso erodendo in parte i sedimenti precedentemente depositi.

In corrispondenza del limite raggiunto dai ghiacciai nelle diverse epoche, le morene frontali ricoprirono i depositi fluvioglaciali e affiorano estesamente tuttora verso i margini pedemontani della pianura.

L'ultima fase evolutiva della Pianura Padana coincide con il sollevamento e la progressiva emersione del settore orientale e con la deposizione dei sedimenti alluvionali olocenici, costituiti prevalentemente da sabbie, ghiaie e limi con lenti argillose. L'alternanza di episodi di piena e di magra dei corsi d'acqua ha comportato il succedersi di fasi di

deposito e di erosione, e queste ultime, in combinazione con fenomeni di divagazione fluviale, hanno determinato la presenza di numerose discontinuità stratigrafiche sia verticali che laterali nei sedimenti alluvionali.

Nella figura successiva viene riportato il classico schema delle principali unità geologiche che costituiscono la Pianura Padana proposta da Francani nel 1997. In giallo è evidenziato il fluvioglaciale del Würm costituenti il Livello fondamentale della Pianura Lombrda (LFPL).

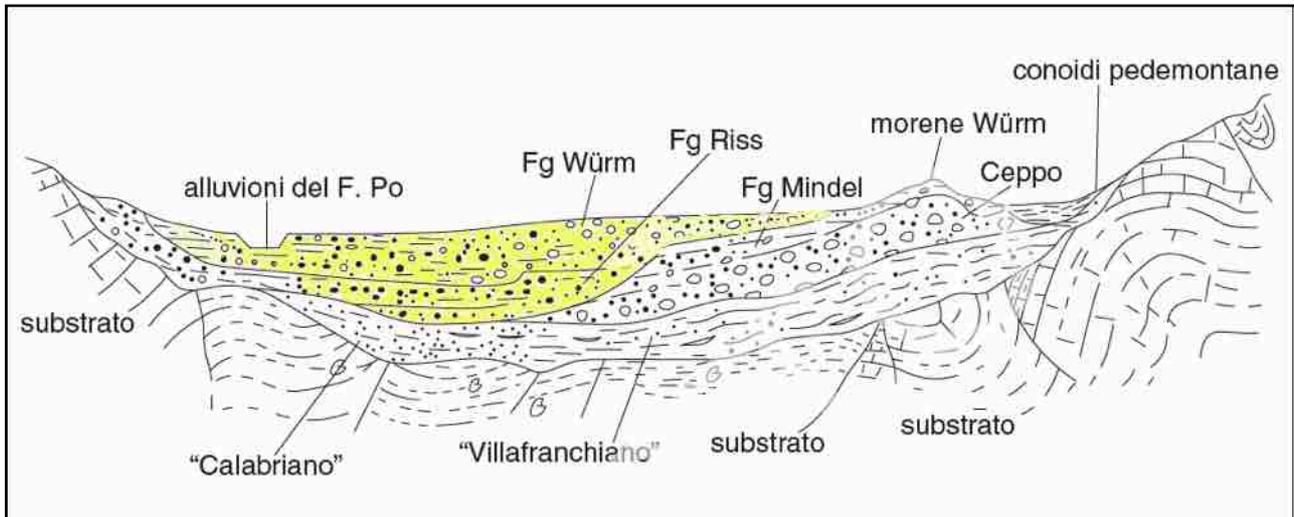


Fig.3: Schema geologico della pianura padana di Francani 1997

3.3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio del Comune di Segrate si presenta mediamente pianeggiante 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 presenta un andamento relativamente pianeggiante con blando declivio verso Sud e quote comprese tra 124 e 108 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 (specchi d’acqua delle attività di cava, cigli di scarpata e rilevati stradali).

3.4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO

Dalla Carta litologica morfologica e pedologica dello studio geologico idrogeologico e sismico del PGT comunale l’area di progetto è inserita nell’Unità cartografica di Minoprio del Supersintema di Besnate (Pleistocene medio-sup.).

3.4.1. Supersintema di Besnate

Il supersintema di Besnate è costituito esclusivamente da depositi fluvioglaciali, caratterizzati da profili d’alterazione moderatamente evoluti, che strutturano gran parte

della pianura del settore centro occidentale di Milano. In base alle relazioni morfologiche, esso è stato suddiviso in numerose unità, leggermente differenti per sequenze sommitali, suoli supportati e composizione petrografica.

Nonostante l'elevato numero di unità riconosciute, la litologia è alquanto omogenea, differendo in parte per le unità di Minoprio e Guanzate che, occupando aree molto estese, presentano una certa variabilità nelle sequenze sommitali.

Il supersintema di Besnate, con le eccezioni sopracitate, è costituito da depositi fluvioglaciali: ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa, da massive a grossolanamente stratificate; ghiaie a supporto di matrice; sabbie medie e grossolane. Clasti poligenici da arrotondati a subarrotondati, in prevalenza centimetrici.

Il supersintema di Besnate è un'unità polifasica pre-LGM. Per quanto riguarda l'area in oggetto, le relazioni sono state stabilite in base alle relazioni geometriche e morfologiche con le fronti glaciali immediatamente esterne a quelle più recenti dell'anfiteatro canturino. Nell'area del Verbano, la radiodating di suoli sepolti attribuiti a questo supersintema ha fornito età comprese tra 26.500 e 32.200 anni 14C (da Rold, 1990) . Pertanto, il supersintema di Besnate viene attribuito all'intervallo tardo Pleistocene medio - Pleistocene superiore.

3.4.2. Unità di Minoprio

L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali: ghiaie a supporto clastico; matrice sabbiosa e sabbioso limosa. Clasti arrotondati/subarrotondati, in prevalenza centimetrici (dimensioni più frequenti tra 1-5 cm; dimensione massima osservata 20 cm circa). Ghiaie da massive a grossolanamente stratificate.

Sono discontinuamente presenti sedimenti fini rubefatti a clasti sparsi, che costituiscono il riempimento di canali incisi nelle ghiaie, fluitato dai suoli delle superfici circostanti. La composizione petrografica è dominata da rocce endogeno-metamorfiche e da rocce ipoabissali/vulcaniche, con quantità subordinate di rocce terrigene, a cemento quasi esclusivamente carbonatico e quantità variabili di quarzo e selci; le rocce carbonatiche pure sono assenti.

Le litologie marker (porfidi rosa e vulcaniti) indicano un'alimentazione da parte del bacino del Fiume Olona .

La superficie limite è di difficile caratterizzazione per la differenziazione delle sequenze sommitali che seppelliscono le ghiaie.

I caratteri distintivi dei suoli vanno ricercati dove le ghiaie affiorano direttamente o sono coperte da sottili livelli colluviali.

Si osservano Alfisuoli con spessori medi attorno a 1,5 m, a matrice prevalentemente limoso sabbiosa, moderatamente rubefatta. L'alterazione interessa le rocce terrigene carbonatiche (sempre decarbonatate), le vulcaniti (50% facilmente frantumabili a mano) e i porfidi; poco o non alterate le rocce cristalline.

Il limite superiore coincide in parte con la superficie topografica, in parte con una superficie erosionale su cui poggiano le ghiaie del sintema di Cantù, le sequenze sabbiose e limoso argillose del subsintema di Ronchetto delle Rane e depositi fluviali del sintema del Po (unità postglaciale). Il limite inferiore è una superficie erosionale, che taglia le unità di Sumirago e Cadorago .

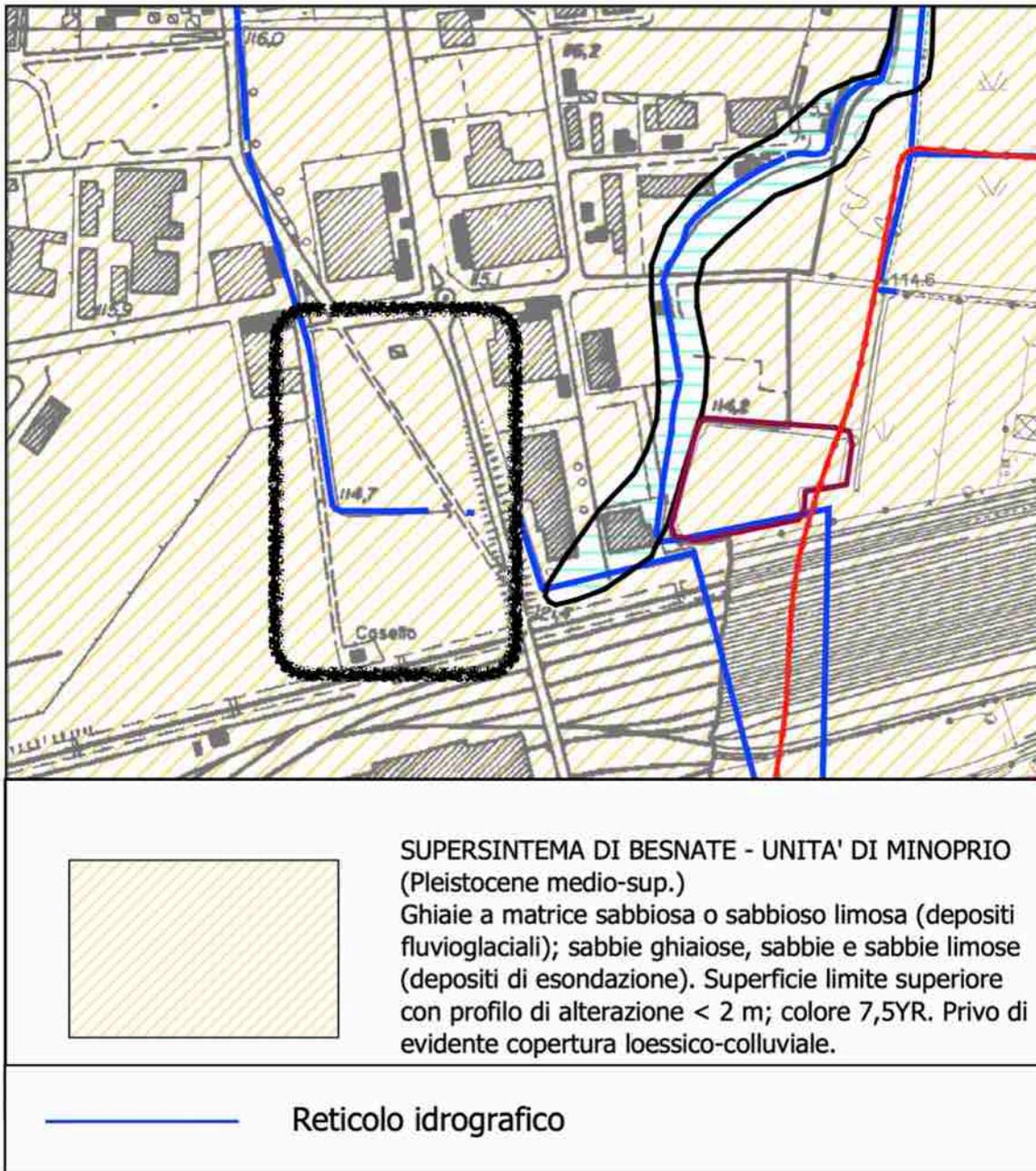


Fig. 4: Estratto della carta litologica morfologica del PGT

3.5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

3.5.1. Modello idrogeologico regionale

Nel presente paragrafo viene illustrato a carattere generale il modello idrogeologico per la pianura lombarda così come proposto dalla Regione Lombardia nel suo Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia nel 2001.

In questo modello si definiscono tre acquiferi principali indicati come "superficiale" o primo acquifero, "tradizionale" o secondo acquifero e acquifero "profondo" poggianti su un substrato roccioso terziario formato da depositi marini poco permeabili.

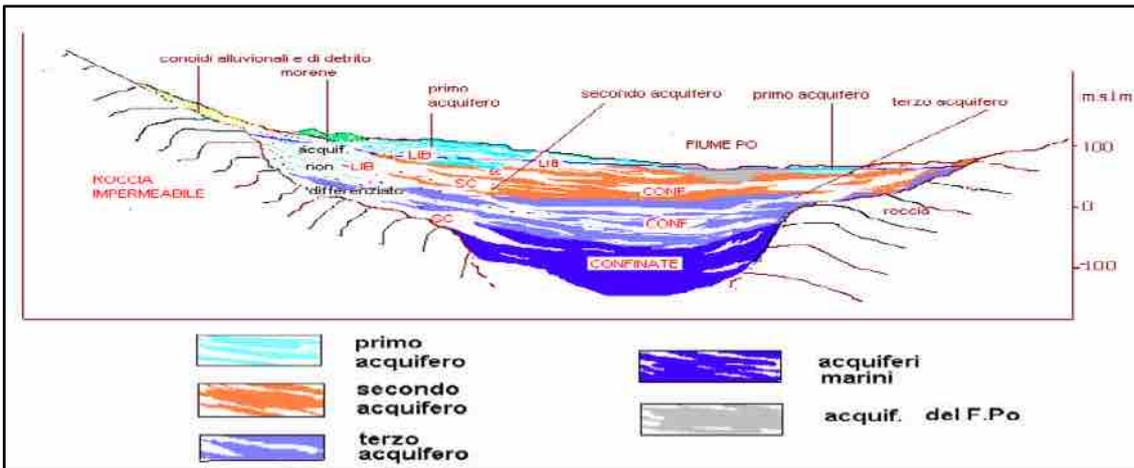


Fig. 5: Sezione Nord-Sud del modello idrogeologico per la pianura lombarda

3.5.2. Serie idrogeologica per la media pianura lombarda

Considerando un'importante studio idrogeologico di Denti, Francani, Fumagalli, Pezzerà e Sala la serie idrogeologica, proposta per la media pianura lombarda, individua le seguenti unità descritte dalle più vecchie alle più recenti:

Substrato roccioso indifferenziato: E' costituito da rocce del Mesozoico e Cenozoico che affiorano nei rilievi che bordano la pianura.

Litozona ad argille prevalenti: L'unità risulta costituita da argille e limi prevalenti, con intercalazioni sabbiose e ghiaiose, di origine per la maggior parte continentale. I livelli argillosi, talvolta molto continui lateralmente, definiscono una struttura idrogeologica denominata acquifero multistrato. I livelli più permeabili formano i cosiddetti acquiferi profondi che sono sede di falde confinate o semiconfinite, con potenzialità idrica molto ridotta. Gli acquiferi manifestano, in linea generale, una forma lenticolare; le ghiaie e le sabbie sono ovunque subordinate ai terreni coesivi, che hanno spesso una caratteristica colorazione grigio-azzurra. A questa unità difatti appartengono anche i sedimenti del Pleistocene inferiore e Pliocene superiore di origine marina (contenenti anche macrofaune fossili), i quali hanno litologia e comportamento idrogeologico analogo a quello dei sedimenti continentali summenzionati. Dal punto di vista stratigrafico, dunque, inferiormente i dati paleontologici indicano un ambiente deposizionale lagunare e marino, con presenza di fossili di tali ambienti mentre superiormente i depositi appartenenti alla litozona in argomento sono di origine continentale e contengono livelli di torbe, espressione di sedimentazione palustre di età villafranchiana (Pleistocene inferiore). Talora tali acquiferi, che stratigraficamente si trovano al disotto dei conglomerati variamente fessurati della formazione del Ceppo, assumono una certa importanza in quanto vengono raggiunti da pozzi profondi, destinati all'emungimento di acque da adibire al consumo umano. I livelli argillosi della litozona ad argille prevalenti proteggono difatti la falda dalla percolazione di eventuali inquinanti, mentre le falde superficiali talora risultano inquinate. In alcuni casi le condizioni naturali di degrado, la bassa trasmissività e la bassa velocità di ricarica delle falde ne riducono la possibilità di sfruttamento.

Litozona a conglomerati prevalenti: Si tratta di una successione di conglomerati compatti e fratturati, sabbie, arenarie e rare ghiaie, con intercalazioni argillose. Le alternanze di orizzonti conglomeratici e argillosi sono disposti senza un ordine o una

successione preferenziale; verso l'alto prevale spesso una potente serie di depositi conglomeratici con locali intercalazioni di livelli argillosi. I conglomerati, appartenenti alla formazione del Ceppo (Pleistocene inferiore), rappresentano la principale roccia serbatoio. Le lenti ghiaioso-sabbiose presentano una considerevole estensione areale (fino a 2-3 km) e visto il loro discreto spessore costituiscono un corpo acquifero molto produttivo e sfruttato dai pozzi perforati. Tutto lo spessore dell'unità conglomeratica risulta caratterizzato da una marcata eterogeneità litologica che condiziona la circolazione idrica sotterranea. La permeabilità dei depositi conglomeratici è alquanto varia, influenzata dalla presenza di fratture e cavità di dissoluzione, dal grado di cementazione e dalla percentuale di sedimenti fini. Anche i valori di trasmissività e di porosità risultano variabili in funzione di tali condizioni e del grado di compattezza dei conglomerati. Essendo comunque lo spessore saturo mediamente superiore a 50 metri, la potenzialità idrica dell'acquifero del "Ceppo" è piuttosto elevata. I pozzi che lo captano presentano portate specifiche con valori compresi tra i 10 ed i 30 l/s*m; le portate minime sono correlate anche ad una diminuzione progressiva dello spessore del "Ceppo" conseguente ad un innalzamento dell'unità "Villafranchiana".

Litozona a ghiaie e sabbie a componente limosa: Questa unità ha un certo interesse pratico in quanto la litozona è costituita da depositi fluvioglaciali e fluviali del Riss e del Mindel (Pleistocene medio), che ospitano lenti ghiaioso-sabbiose di sensibile estensione anche se di spessore talora ridotto. Negli orizzonti a granulometria grossolana difatti si intercalano livelli sabbiosi, limosi e argillosi. Talvolta le ghiaie vengono cementate dall'acqua sotterranea e si presentano in forma di conglomerati.

Litozona a ghiaie e sabbie: Questa unità, in cui frequentemente si rinviene la falda freatica, è costituita dalle ghiaie e dalle sabbie dei sedimenti alluvionali recenti e di quelli fluvioglaciali würmiani contraddistinti da caratteristiche di permeabilità elevata.

3.5.3. Caratterizzazione Idrogeologica nel Territorio Comunale

Nell'area del territorio comunale, la morfologia della superficie piezometrica evidenzia una falda radiale, con quote piezometriche comprese tra 104 e 118 m s.l.m.; le componenti del flusso idrico sotterraneo sono orientate NNE-SSW e il gradiente idraulico risulta maggiore nei settori centrali del territorio comunale ($2.8 \div 2.9$ ‰), riducendosi progressivamente nei settori meridionali ($1.2 \div 2$ ‰).

Da rilevare il ruolo svolto sulla piezometria della falda superiore dalla struttura dell'Idroscalo, che determinano a livello locale una distorsione del flusso idrico sotterraneo a causa del loro ruolo di richiamo e alimentazione.

3.5.4. Piezometria e Soggiacenza Della Falda Acquifera

La profondità del livello piezometrico degrada uniformemente da Nord a Sud con alcune anomalie negative dovute alla presenza dei laghi di cava (emergenza della falda) e positive in corrispondenza delle aree topograficamente più rilevate (scalo ferroviario ed aree edificate principali).

La soggiacenza dell'acquifero nell'area del P.I.I può essere oggi assunta dell'ordine di $5 \div 6$ m anche se occorre tenere presente (visto l'andamento della piezometrica in continua crescita) una potenziale riduzione della soggiacenza negli anni a venire oggi di difficile previsione.

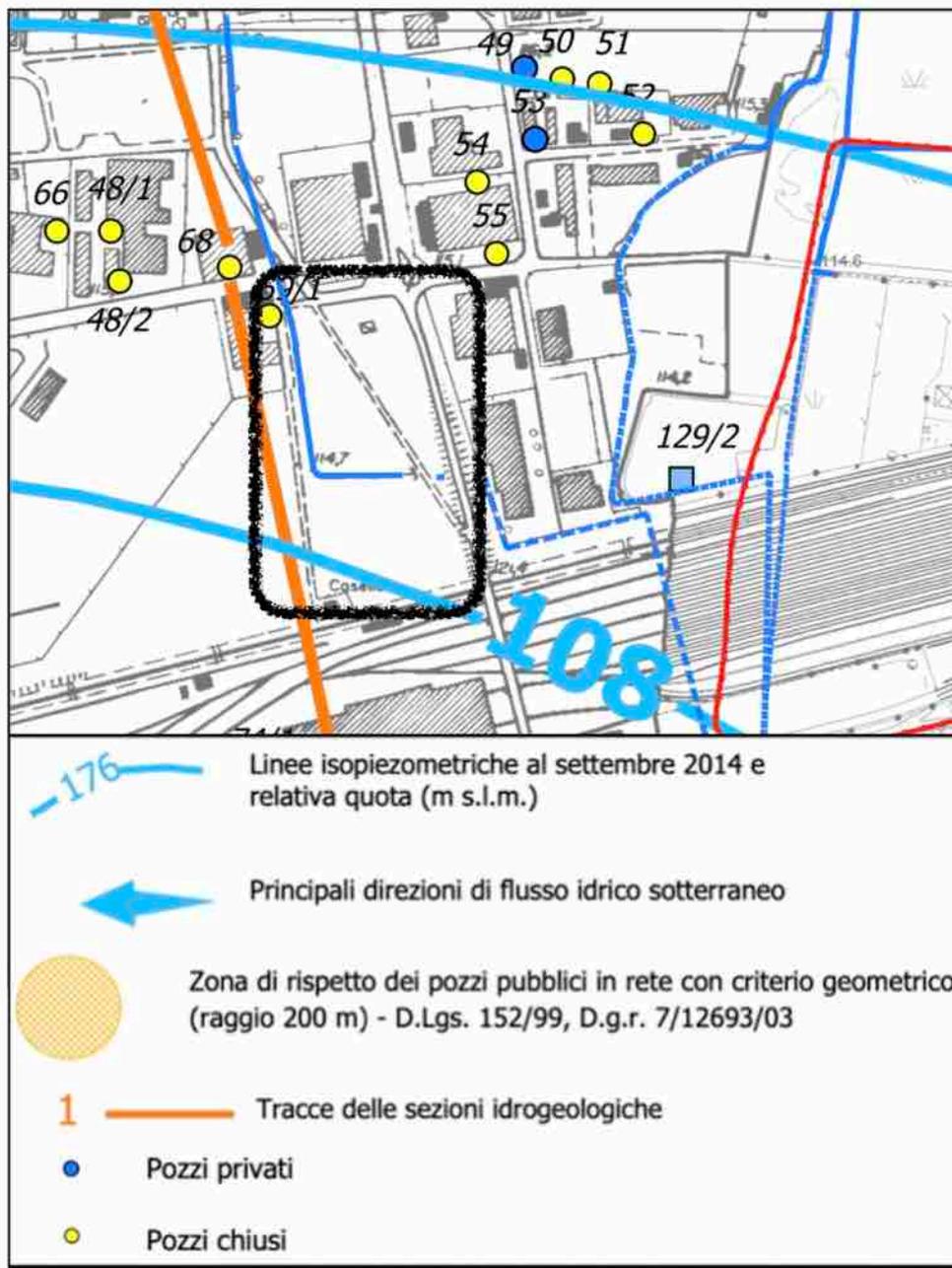


Fig. 6: Estratto della carta idrogeologica del PGT

3.6. INDAGINI DI SITO SVOLTE

A supporto del presente studio così come per il documento precedente sono state considerate due campagne d’indagini geognostiche eseguite nel 2007 per la porzione d’area del P.I.I. oggi già edificata ed una seconda campagna eseguita nel 2011 nella porzione d’area non ancora edificata.

Queste indagini sono state integrate in data 19 Aprile 2022 con l’esecuzione di una prospezione geofisica MASW ((Multichannel Analysis of Surface Waves) basata sull’analisi della propagazione delle onde di superficie impiegate per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

in Allegato A si riporta la descrizione delle indagini geofisiche eseguite e si espongono i risultati ottenuti

3.7. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

3.7.1. Categoria Sismica del Sottosuolo

Per la classificazione del sito e determinare l’eventuale amplificazione sismica, le norme tecniche sulle costruzioni (NTC 2018), riprendendo quanto riportato nell’Eurocodice 8 (con particolare riferimento alla prima parte EN1998-1 in cui si definiscono le regole generali, le azioni sismiche e regole specifiche per edifici).

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi o terreno molto rigidi caratterizzati da 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 o depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra i 360 m/s e 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresa tra 180 m/s e 360 m/s
D	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresa tra 100 m/s e 180 m/s
E	Terreni con caratteristiche e valore di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore ai 30 metri.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (m/s) definita dall’espressione:

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

dove:

h_i spessore dell’i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;

N Numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/sec.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,i}$ è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Considerando i risultati della indagini MASW i terreni di fondazione, con una $V_{S,eq}$ di 379 m/sec, appartengono alla classe **B** ovvero: "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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."

3.8. PERICOLOSITÀ SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare il periodo di riferimento;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative probabilità di superamento è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

3.8.1. Vita Nominale, Classi d'Uso e Periodo di Riferimento

Nel DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N * C_U$$

dove

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 1 Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo:

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tab. 1: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso.

Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici di tipo agricoli. $C_U = 0.7$;
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso II a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1$.

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1,0 = 50 \text{ anni.}$$

3.8.2. Stati Limite, Probabilità di Ritorno e Periodo di Riferimento

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento P_{VR} (Tabella 2), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	P_{VR} = 81%
Stato limite di esercizio: danno	SLD	P_{VR} = 63%
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	P_{VR} = 10%
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	P_{VR} = 5%

Tab. 2: Stati limite e rispettive probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R si ricava dalla tabella 3:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	TR = 30
Stato limite di esercizio: danno	SLD	TR = 50
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	TR = 475
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	TR = 975

Tab. 3: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

3.8.3. Definizione Della Pericolosità Sismica di Base

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A delle NTC08:

- a_g = accelerazione orizzontale massima;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

- a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1
- F_o e TC^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabelle contenute nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Fig. 7), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) * \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) * \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right) \right]^{-1}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g , F_o , TC^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,2}$.

Per un punto del non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag, Fo, TC*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell’i-esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall’i-esimo vertice della suddetta maglia.

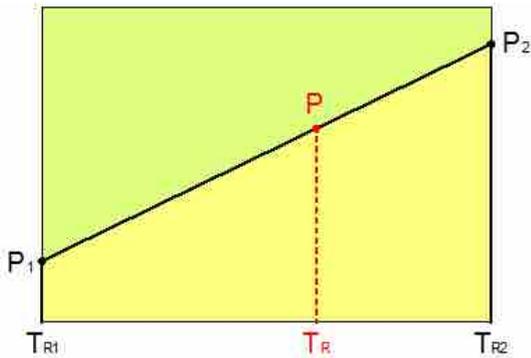


Fig. 7: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Fig. 8

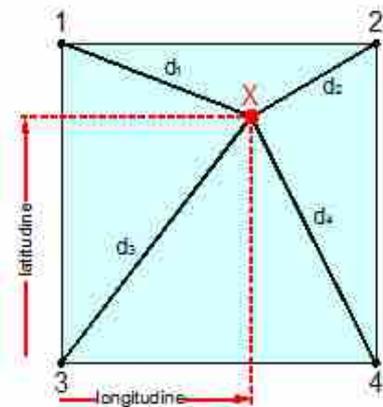


Fig.8: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08

Pertanto per poter procedere all’interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC18, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall’espressione seguente:

$$d = R * \arccos[\sin(lat\beta) * \sin(lat\alpha) + \cos(lat\beta) * \cos(lat\alpha) * \cos(lon\alpha - lon\beta)]$$

dove R = 6371 è il raggio medio terrestre in km, mentre lata, lonα, latβ e lonβ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

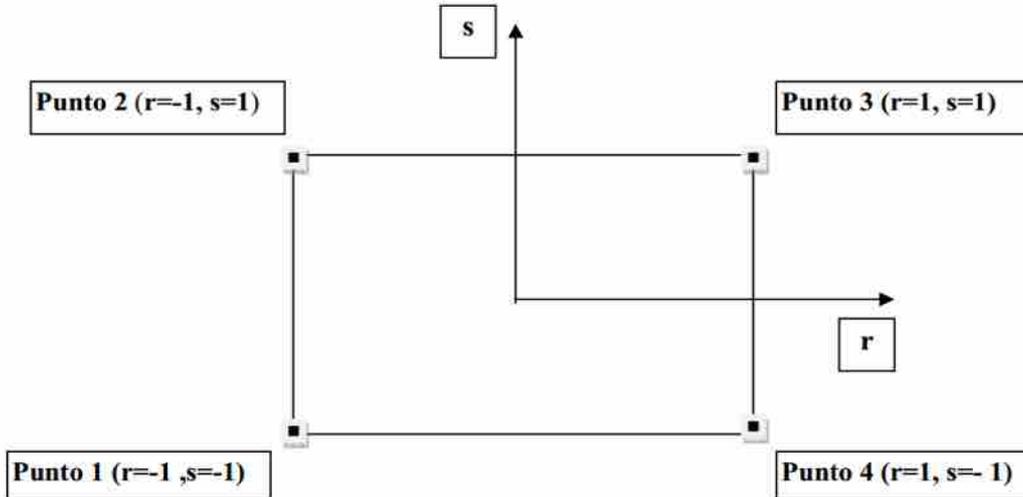


Fig. 9: Applicazione dell'interpolazione bilineare

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1 - r) * (1 - s) / 4$$

$$h_2 = (1 - r) * (1 + s) / 4$$

$$h_3 = (1 + r) * (1 + s) / 4$$

$$h_4 = (1 + r) * (1 - s) / 4$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le relazioni seguenti:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i * x_i = [(1 - r) * (1 - s) * x_1 + (1 - r) * (1 + s) * x_2 + (1 + r) * (1 + s) * x_3 + (1 + r) * (1 - s) * x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i * y_i = [(1 - r) * (1 - s) * y_1 + (1 - r) * (1 + s) * y_2 + (1 + r) * (1 + s) * y_3 + (1 + r) * (1 - s) * y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri ag, F0, Tc* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i * p_i = [(1 - r) * (1 - s) * p_1 + (1 - r) * (1 + s) * p_2 + (1 + r) * (1 + s) * p_3 + (1 + r) * (1 - s) * p_4]$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

3.8.4. Pericolosità Sismica di Sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali,

ciò dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

3.8.4.1. Coefficienti Sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

3.8.4.2. Stabilità dei Pendii e Fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii e fondazioni i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s * \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h$$

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 4 seguente:

	Categoria di sottosuolo	
	A, B	C, D, E
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0,28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_s * S_T * a_g$$

S_s (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_s \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g .

S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche: T1: $S_T = 1.0$; T2: $S_T = 1.20$; T3: $S_T = 1.20$; T4: $S_T = 1.40$.

3.8.5. Risultati

3.8.5.1. Pericolosità Sismica di Base

Vita nominale (V_n): 50[anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (C_u): 1,00

Periodo di riferimento (V_r): 50[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO: 30[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLD: 50[anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLC: 975 [anni]

Coordinate geografiche del punto in posizione baricentrica dell'area di progetto:

Latitudine (WGS84): 45,4823112 [°]

Longitudine (WGS84): 9,2987232 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	12262	45,461780	9,288462	2544,54
2	12263	45,464240	9,359496	5113,32
3	12041	45,514180	9,355989	5570,10
4	12040	45,511730	9,284842	3374,78

Parametri di pericolosità sismica per T_R diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento:

Punto1

Stato limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,021	2,549	0,182
SLD	50	0,027	2,546	0,199
SLV	475	0,056	2,631	0,282
SLC	975	0,068	2,650	0,297

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,022	2,546	0,181
SLD	50	0,028	2,530	0,204
SLV	475	0,061	2,628	0,286
SLC	975	0,076	2,647	0,294

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,022	2,542	0,181
SLD	50	0,028	2,525	0,203
SLV	475	0,062	2,619	0,285
SLC	975	0,078	2,636	0,293

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,020	2,554	0,181
SLD	50	0,026	2,547	0,197
SLV	475	0,056	2,629	0,281
SLC	975	0,069	2,649	0,296

Punto d'indagine in posizione baricentrica dell'area di progetto

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,021	2,549	0,181
SLD	50	0,027	2,540	0,200
SLV	475	0,058	2,628	0,283
SLC	975	0,072	2,647	0,295

3.8.5.2. Pericolosità Sismica di Sito

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}: 1,000$

Categoria sottosuolo:

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

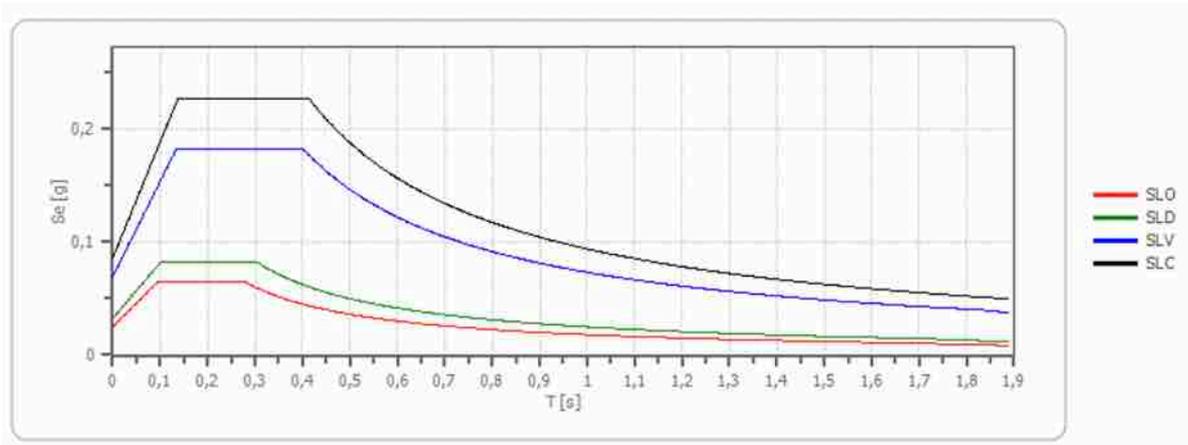
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

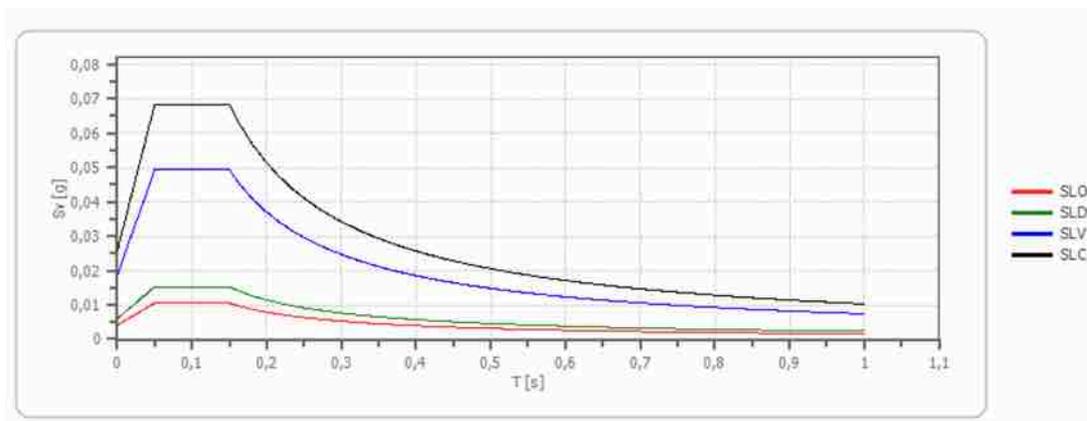
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,005	0,006	0,012	0,015
k_v	0,002	0,003	0,006	0,008
a_{max} [m/s ²]	0,248	0,318	0,680	0,842
Beta	0,180	0,180	0,180	0,180

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	S _T [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,021	2,549	0,181	1,200	1,550	1,000	1,20	1,000	0,094	0,281	1,684	0,025	0,064
SLD	1,0	0,027	2,540	0,200	1,200	1,520	1,000	1,20	1,000	0,101	0,304	1,708	0,032	0,082
SLV	1,0	0,058	2,628	0,283	1,200	1,420	1,000	1,20	1,000	0,134	0,402	1,831	0,069	0,182
SLC	1,0	0,072	2,647	0,295	1,200	1,400	1,000	1,20	1,000	0,138	0,414	1,886	0,086	0,227

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	S _T [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,021	2,549	0,181	1	1,550	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,004	0,011
SLD	1,0	0,027	2,540	0,200	1	1,520	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,006	0,015
SLV	1,0	0,058	2,628	0,283	1	1,420	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,019	0,049
SLC	1,0	0,072	2,647	0,295	1	1,400	1,00	1,00	1,000	0,050	0,150	1,000	0,026	0,068

3.9. PERICOLOSITÀ SISMICA AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016

3.9.1. Analisi Sismica di Primo Livello

Dall’analisi della carta di pericolosità sismica locale di I° livello (D.G.R. IX 2616/2011) per l’area di progetto si ipotizzano possibili scenari d’amplificazioni litologica e geometriche Z4a - zone di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

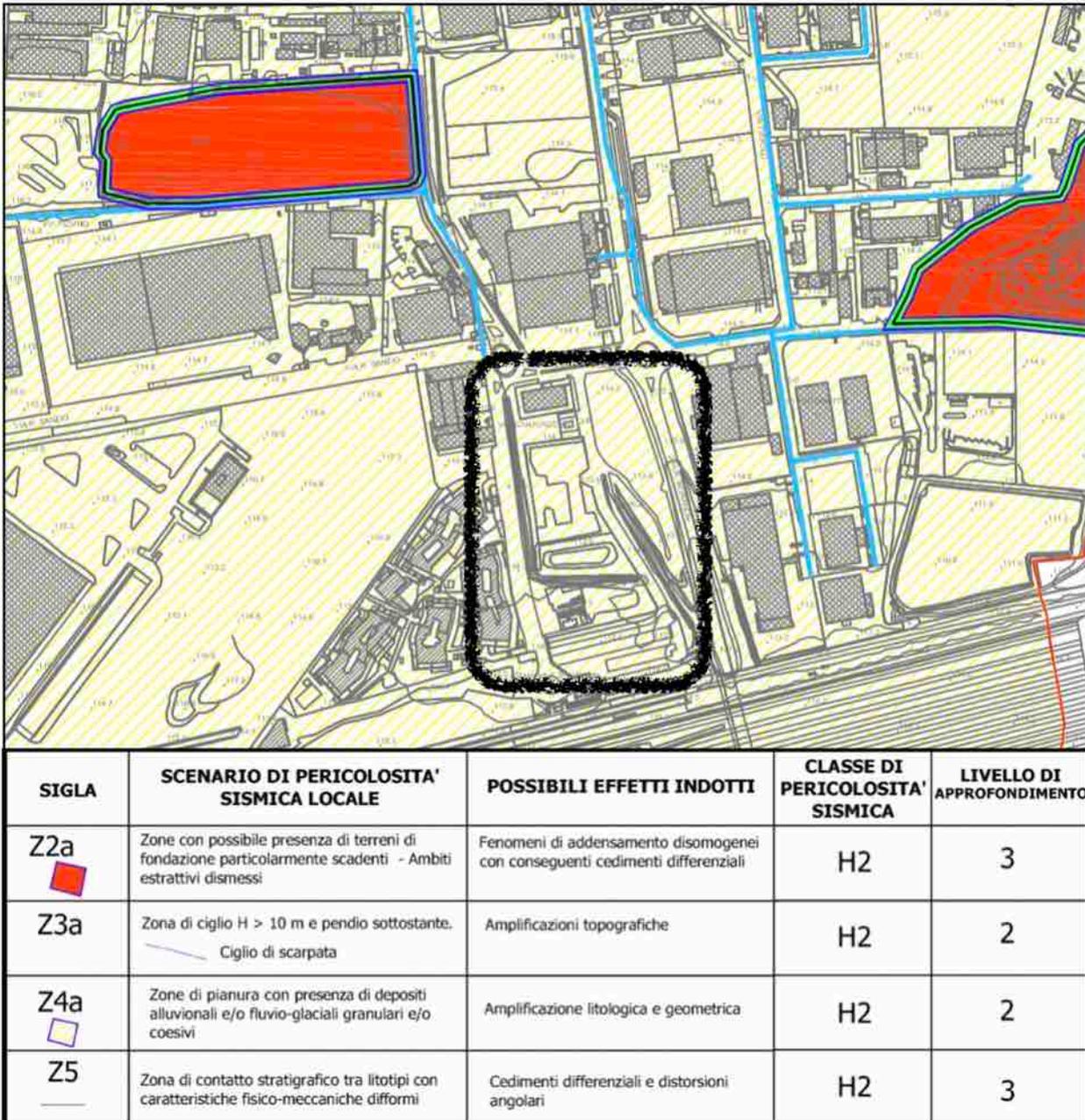


Fig. 10: Estratto della carta della pericolosità sismica del PGT

3.9.2. Analisi di Secondo Livello

Come indicato nelle Norme sismiche del PGT comunale la progettazione nel caso di opere di tipo 2, dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 17 gennaio 2018 "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 in questo caso la Classe C.

3.10. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La normativa esclude il pericolo di liquefazione quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda maggiore di 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituite da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{160} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$, dove N_{160} è il valore della resistenza determinata da prove SPT normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e dove qc_{1N} è il valore della resistenza determinata da prove CPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 13(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 13(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

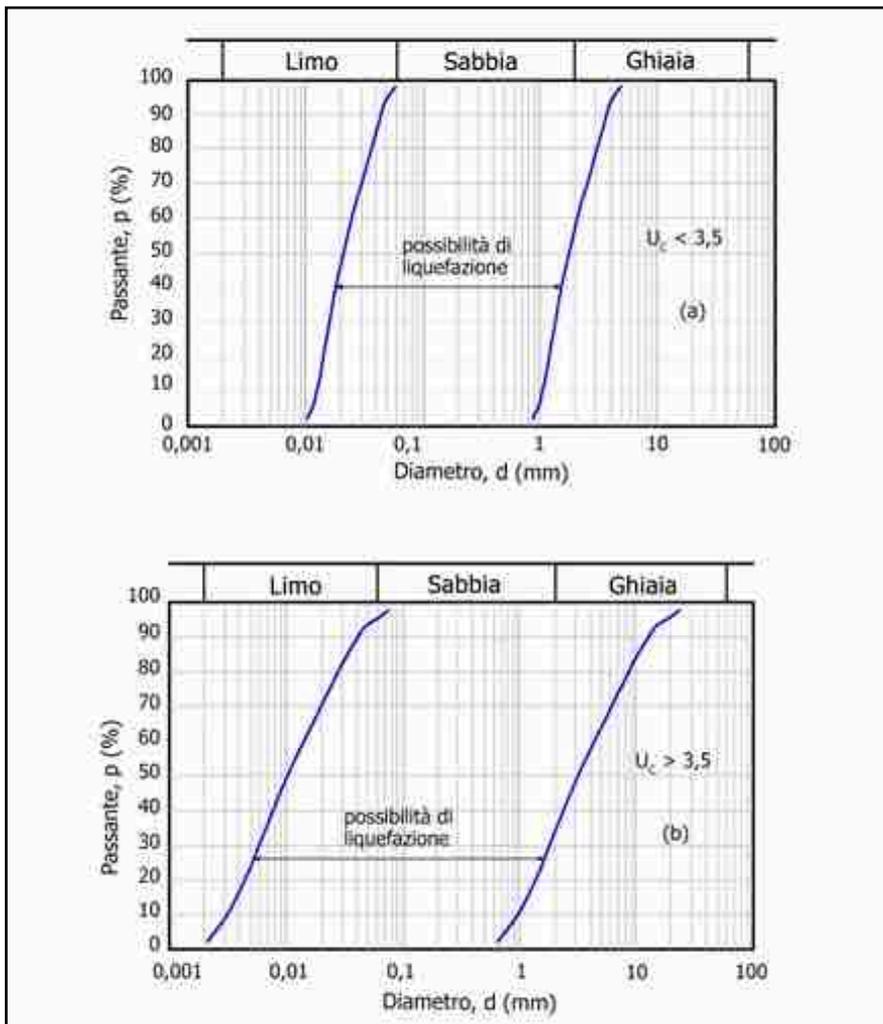


Fig. 11: fusi granulometrici

Appare evidente che, indipendentemente dalle caratteristiche granulometriche, l'analisi può essere comunque omessa in quanto il sito presenta bassa sismicità ($a_{max} < 0.1g$).

3.11. VERIFICA DI FATTIBILITÀ AI SENSI DELLA DGR IX/2616 DEL 30.11.2016

Le verifiche con lo studio geologico a supporto della pianificazione territoriale sono state eseguite considerando le prescrizioni di carattere geologico a corredo dello Studio geologico del Piano di Governo del Territorio.

3.11.1. Carta dei Vincoli

Il comune di Segrate è sottoposto ai seguenti vincoli di carattere geologico e idrogeologico:

- Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile: L'art. 94 del D.Lgs 3 aprile 2006 n. 152 "Norme in materia ambientale" riguarda la disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano;
- Piano di stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) - fasce fluviali,
- Polizia idraulica: il Comune di Segrate si è dotato di Documento di Polizia Idraulica, ai sensi della Deliberazione di Giunta Regionale 23 ottobre 2015 - n. X/4229;
- Parco regionale Agricolo Sud Milano, istituito con l.r. n. 24 del 23 aprile 1990. Il Piano Territoriale di Coordinamento del Parco è stato approvato con D.G.R. n. 7/818 del 3 agosto 2000.

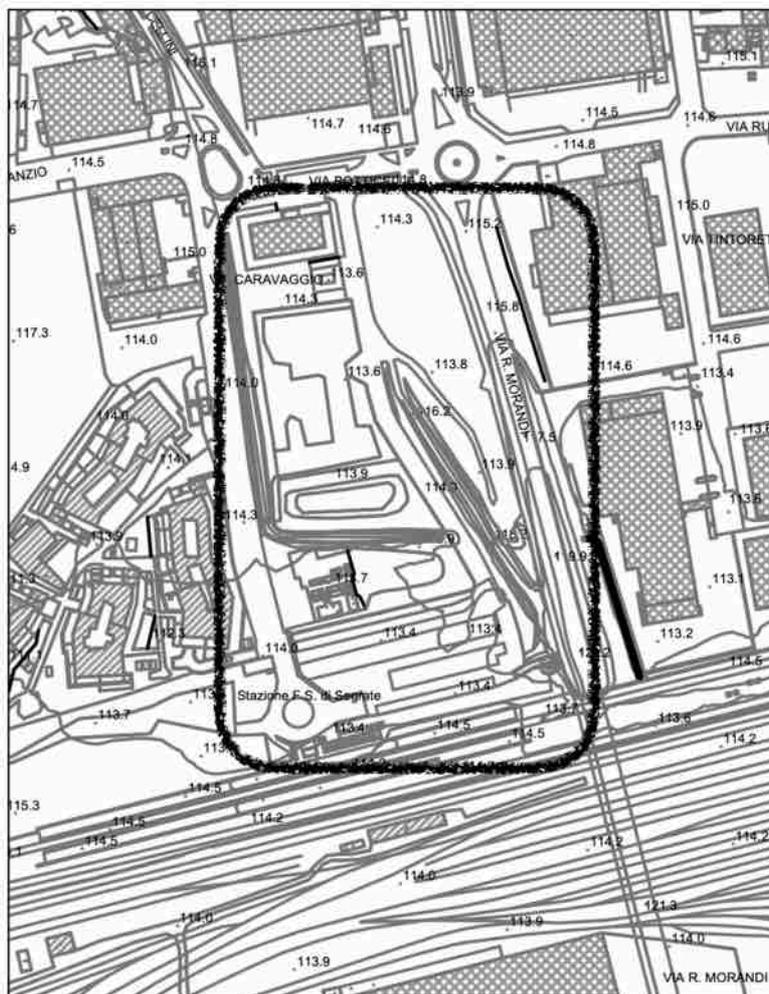


Fig. 12: Estratto dalla carta dei vincoli del PGT

Per l'area di progetto non sussistono vincoli geologici e idrogeologici.

3.11.2. Carta Della Fattibilità per le Azioni di Piano

Dalla carta di Fig. 13 è possibile osservare che l'area di progetto ricade in classe di Fattibilità 2Bmi ovvero classe con modeste limitazioni alle variazioni di destinazione d'uso del suolo.

Principali caratteristiche: Aree pianeggianti, litologicamente costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa o sabbioso limosa, sabbie ghiaiose, sabbie e sabbie limose. Terreni granulari con buone caratteristiche portanti a partire da 3 m da p.c..

Parere sulla edificabilità: Favorevole con modeste limitazioni connesse alla verifica puntuale delle caratteristiche portanti e di drenaggio dei terreni superficiali, alla salvaguardia dell'acquifero libero.

Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia (così come definiti dall'art. 27 della L.R. 11 marzo 2005 n. 21 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.

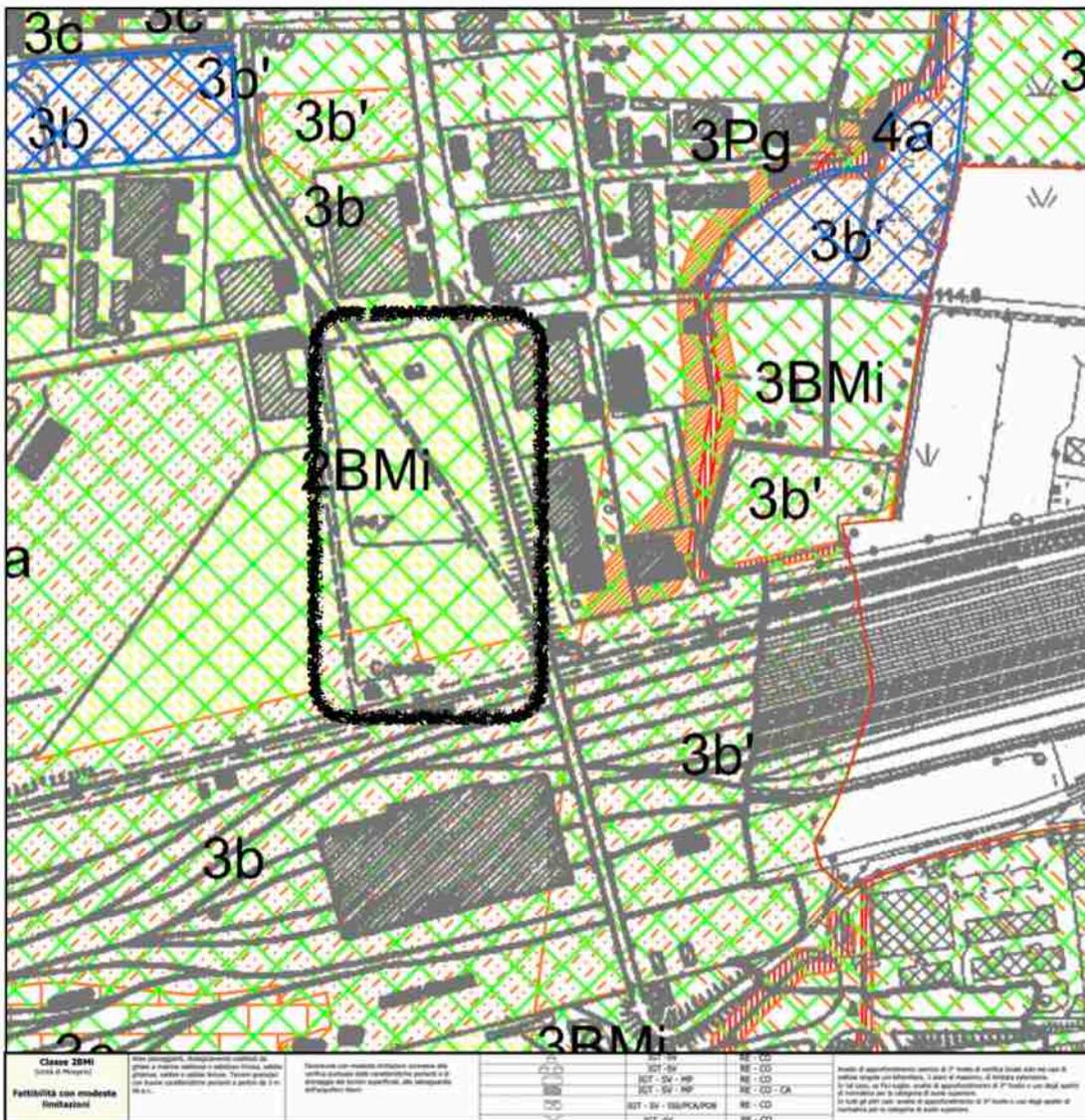


Fig. 13: Estratto dalla carta di Fattibilità del PGT

4. RELAZIONE GEOTECNICA (DM 14/01/08 CAP 6.2.2)

La relazione geotecnica per il progetto esecutivo ai sensi del cap. 6.2.2 delle NTC 2018 è finalizzata a definire le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell’area oggetto dell’intervento, da riassumere in un modello geotecnico del sito, utili al progettista per condurre le verifiche sulle fondazioni previste dal successivo cap. 6.2.3 delle NTC 2018.

4.1. PROFILO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO

4.1.1. Profilo Stratigrafico

L’analisi dei dati a disposizione consente di mettere in evidenza quanto segue (le profondità sono riferite al p.c. locale all’atto dell’indagini menzionate precedentemente):
Da p.c. a 0.5÷2.0 m

RIPORTO Si tratta di sabbia limosa di colore variabile dal marrone al grigio con ghiaia, ciottoli e resti di laterizi. Talvolta presenti componenti organiche.

Oltre 0.5÷2.0 m fino alle massime profondità indagate (30 m)

GHIAIA con sabbia. Si tratta di ghiaia con sabbia da media a grossolana generalmente poco limosa (CF < 10%) di colore variabile dal nocciola al grigio.

La continuità del deposito è interrotta da livelli più marcatamente sabbiosi dello spessore di circa 0.5-1.0 m caratterizzati comunque da modesto contenuto di limo e argilla (max. 20%).

Nel complesso lo stato di addensamento appare sempre elevato e crescente all’aumentare della profondità come evidenziato dai risultati delle prove SPT.

A partire da circa 14÷15 m le prove SPT registrano condizioni di rifiuto in seguito all’aumento della frequenza di ciottoli e clasti di dimensione comprese tra 80 e 120 mm.

Ai fini della presente si definisce pertanto la stratigrafia “di riferimento” di cui alla Tabella seguente

Profondità (m da p.c.)	Descrizione	Note
0,00-2,00	TERRENO DI RIPORTO : sabbia limosa di colore variabile dal marrone al grigio con ghiaia, ciottoli e resti di laterizi.	
2,00-14/16,00	Ghiaia con sabbia da media a grossolana generalmente poco limosa (CF<10%) di colore variabile dal nocciola al grigio. Presenti livelli discontinui più marcatamente sabbiosi di spessore prossimo al metro (CF<20%). Colore variabile dal nocciola al grigio	Addensamento crescente con la profondità
14/16-30		Aumento della frequenza di ciottoli e clasti di dimensione comprese tra 80 e 120 mm. SPT a “rifiuto”.

4.1.2. *Caratterizzazione Geotecnica*

Nella Tabella e nella Figura 14 sono riportati i fusi granulometrici dei campioni prelevati nei sondaggi del 2011 mentre in Figura n. 15 è illustrato l'andamento con la profondità della densità relativa dei terreni di fondazione ricavato dai valori di SPT (campagna di indagine 2011).

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	GHIAIA		SABBIA			LIMO + ARGILLA	LIMO	ARGILLA
			GROSSA	FINE	GROSSA	MEDIA	FINE			
			%	%	%	%	%			
S3	CR1	1.5	9.0	18.3	11.4	22.1	18.1	21.1	11.2	10.0
S4	CR1	1.5	2.0	11.3	5.9	18.4	23.2	39.2	24.1	15.1
S1	CR1	2.5	16.7	24.9	8.1	15.7	14.0	20.5		
S4	CR2	4.0	9.8	29.2	11.5	19.7	13.5	16.3		
S1	CR2	6.0	19.2	33.7	7.5	19.0	13.2	7.5		
S3	CR2	6.0	27.9	23.5	7.5	15.9	14.0	11.1		
S2	CR1	7.0	6.8	23.5	11.8	19.1	16.4	22.4		
S4	CR3	9.0	24.7	31.6	8.3	15.3	11.9	8.1		
S1	CR3	10.0	11.0	4.0	1.1	27.2	39.9	16.7		
S3	CR3	10.5	32.0	26.5	6.4	15.6	12.7	6.8		
S2	CR2	11.0	10.1	12.2	4.3	43.1	21.3	9.0		
S2	CR3	15.0	12.5	17.5	5.3	20.4	22.2	22.2		
S1	CR4	16.0	41.5	24.7	5.4	13.5	9.6	5.2		
S3	CR4	17.0	21.2	33.0	10.0	16.4	10.9	8.5		
S4	CR4	17.0	28.5	21.6	5.9	21.1	12.5	10.4		
S2	CR4	18.0	30.7	26.0	8.4	19.4	10.7	4.9		
S3	CR5	19.0	23.2	18.7	4.1	26.9	17.6	9.6		
S1	CR5	22.0	20.2	32.1	6.6	14.6	18.5	8.1		
S1	CR6	28.0	22.7	33.9	9.6	15.1	11.5	7.2		

Caratteristiche granulometriche - Campagna di indagine 2011

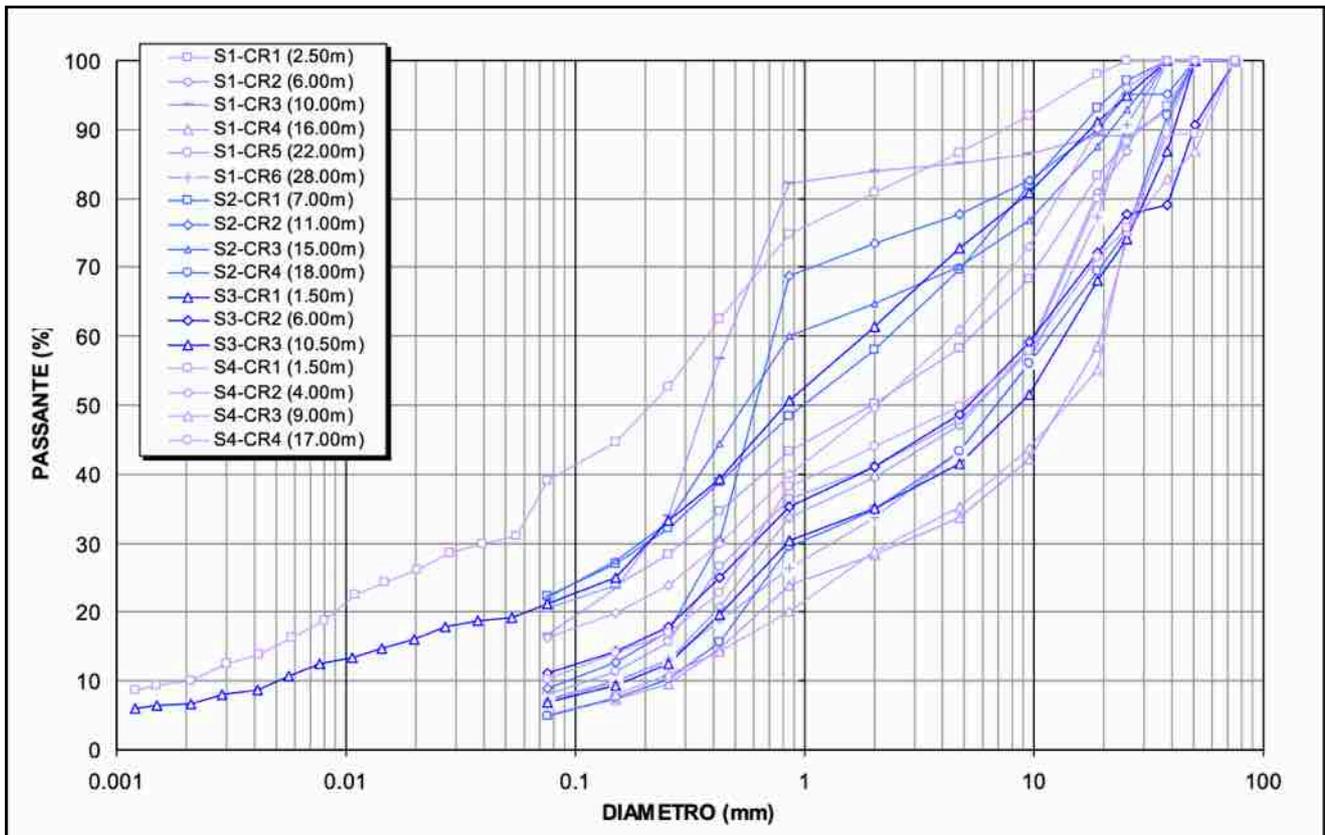


Fig. 14: Fusi granulometrici - Campagna d'indagine 2011

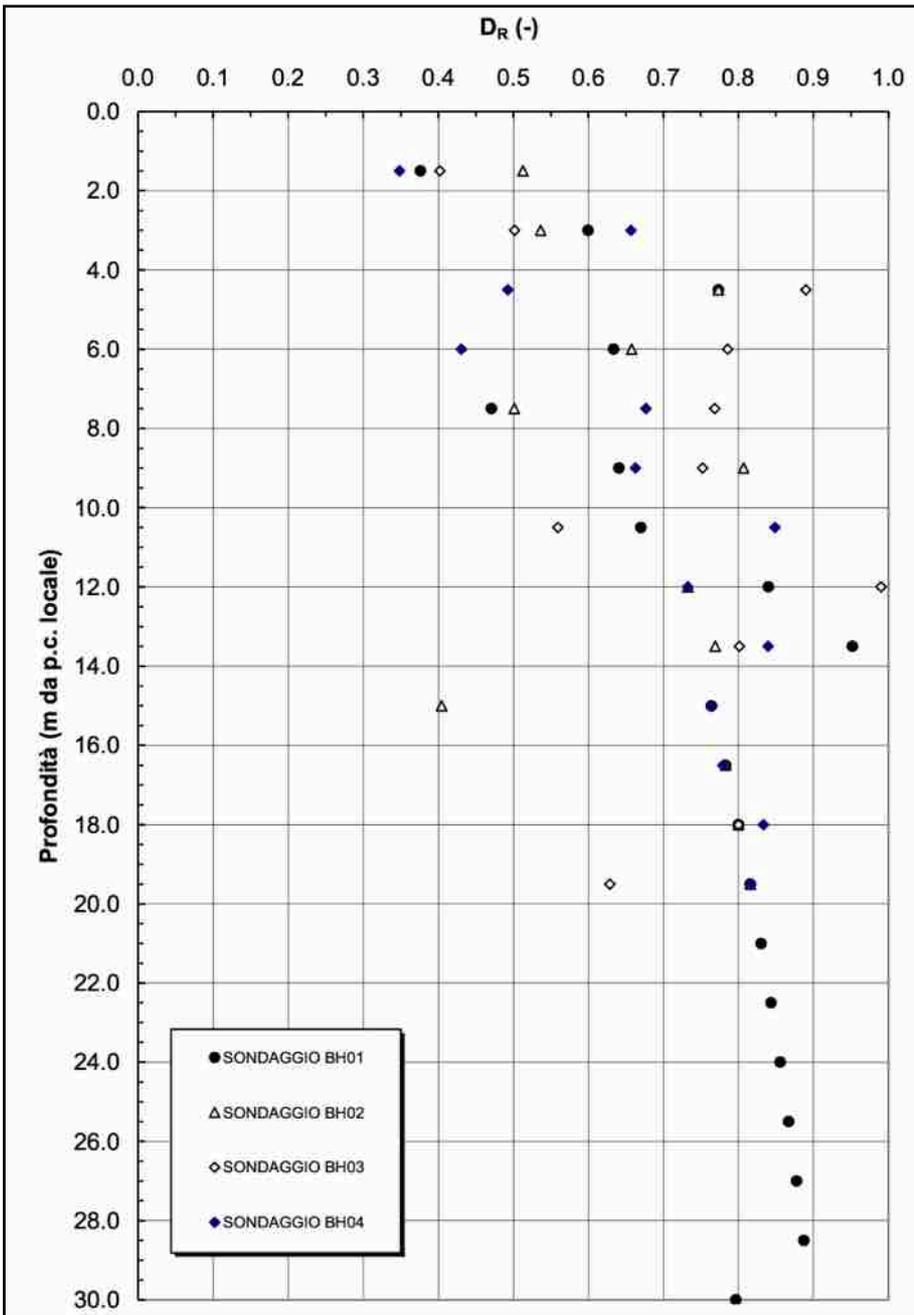


Fig. 15: Densità relativa da SPT - Campagna d'indagine 2011

Quanto esposto consente di concludere che il terreno di fondazione (esclusa la porzione di riporto superficiale) è costituito da materiali a comportamento granulare (sabbia e ghiaia) molto ben addensati e di elevata rigidità. A titolo indicativo si possono stimare i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

D_R = densità relativa	crescente da 50% a 90%
ϕ'_{cv} = angolo di attrito a "volume costante"	32÷34°
ϕ'_k = angolo di attrito caratteristico	35÷38°
c'_k = coesione efficace	0,00 kPa
$E'_{(0,01\%)}$ = modulo elastico [MPa]	10+6·z (z in m da p.c.)
ν' = Coefficiente di Poisson	0,25÷0,30
k = permeabilità media dell'acquifero	1,00E-1 ÷ 1,00E-2 cm/s

5. CONCLUSIONI

Alla luce dello Studio eseguito, redatto conformemente agli elaborati indicati dalla DGR 5001/2016 di Regione Lombardia con la compilazione della relazione geologica ai sensi sia della DGR 2616/2011 che del DM 17/01/2018 (NTC) cap. 6.1.2 unitamente alla compilazione della relazione geotecnica ai sensi del DM 14/01/2008 (NTC) cap. 6.2.2, si può affermare che non esistono motivi ostativi di fattibilità geologica al progetto per la realizzazione delle opere di urbanizzazione lotto 1 e 6 del P.I.I. Quartiere Stazione a Segrate.

Arnaldo Zanchi Geologo



*ALLEGATO A
Indagini MASW.*

SOMMARIO

Il presente documento descrive i risultati delle misure geofisiche di tipo Masw eseguite in corrispondenza di una linea sismica per le opere di urbanizzazione lotti 1 e 6 del P.I.I. Quartiere Stazione nel comune di Segrate (MI). Lo scopo dei rilievi è di caratterizzare la zona d'indagine da un punto di vista sismico, stimando, secondo quanto stabilito dalla normativa nazionale (NTC18) e regionale (D.G.R. IX/2616 del 2011), l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e, conseguentemente, calcolare la velocità media V_s che caratterizza i terreni a partire dalla superficie sino al bedrock ($V_{s,eq}$), oppure sino alla profondità di 30m (V_{s30}), nei casi in cui il bedrock sia a profondità superiori ai 30 m.

Le indagini in sito sono state effettuate nel giorno 19 aprile 2022.

Il presente rapporto illustra una sintesi descrittiva dei metodi utilizzati per le indagini, delle modalità operative e dei risultati ottenuti.

RILIEVI SISMICI DI SITO

INDAGINI MASW

Introduzione alla teoria dell'analisi delle onde superficiali

I metodi di misura delle onde di superficie (onde di Rayleigh) si basano sull'analisi del fenomeno della dispersione delle stesse nei primi strati di terreno.

Le onde superficiali (Rayleigh e Love) si propagano solamente se c'è una superficie libera e risultano rispettivamente composte da onde di compressione e onde di taglio. Esse possiedono un fronte d'onda che cresce linearmente con la distanza percorsa (r) e si attenuano in minor misura rispetto a quelle di volume (il loro fronte d'onda cresce con r^2) ciò consente di investigare facilmente il sottosuolo. La profondità massima d'indagine è uguale a circa 1/3 della lunghezza d'onda: per questo motivo vengono usati geofoni con bassa frequenza di funzionamento, ovvero per rilevare lunghezze d'onda lunghe che consentano di approfondire l'indagine; allo stesso tempo vengono effettuate registrazioni di lunga durata per poter migliorare la risoluzione dei risultati.

I diversi metodi si dividono in base al tipo di sorgente utilizzata: nel caso di registrazione di rumore "naturale" si parla di metodo dei Microtremori (o REMI), il caso di sorgente "attiva" è invece definito metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves). Quest'ultimo rappresenta l'evoluzione del metodo SASW, dal quale differisce per l'uso di un dispositivo di acquisizione multicanale rispetto al singolo canale, aspetto che comporta un netto miglioramento in termini di precisione e affidabilità dei risultati.

Metodi attivi: MASW

I metodi "attivi" consistono nel registrare le vibrazioni indotte artificialmente da una sorgente rappresentata da una massa battente o, nel caso si necessiti di forte energia, da un fucile sismico. L'energizzazione del terreno in superficie induce la propagazione di onde superficiali a partire dal punto di sollecitazione dinamica registrate poi dalla catena di geofoni (metodo MASW). Tale tecnica consente di dettagliare la risposta e le proprietà dinamiche soprattutto nei primi metri di terreno, perdendo capacità risolutiva col progredire della profondità.

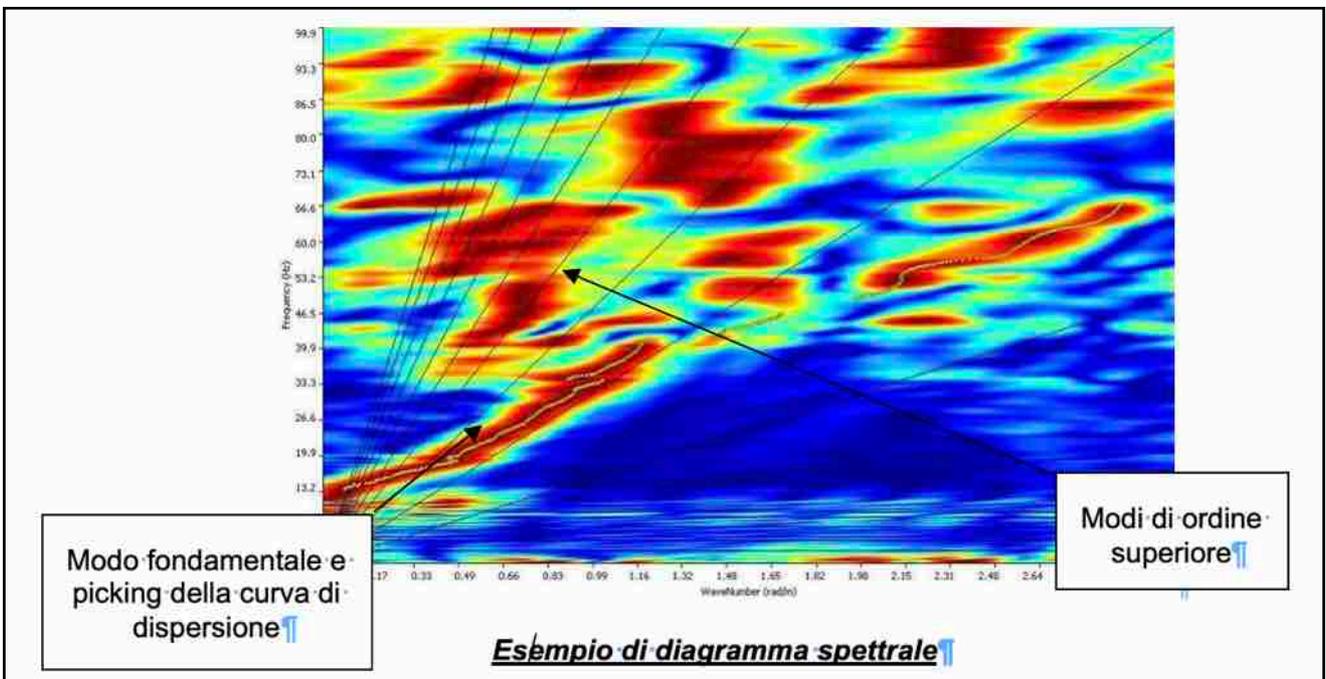
Le registrazioni in campo consentono di calcolare l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ($V(\text{fase})/\text{frequenza}$), successivamente, attraverso un'elaborazione per fasi (processo di inversione della curva di dispersione) si

ricava l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie (modello preliminare del sottosuolo).

Il modello d'interpretazione si basa sul presupposto teorico ideale della presenza nel sottosuolo di strati orizzontali sovrapposti di spessore costante. Il risultato alla quale si giunge rappresenta l'andamento medio del valore della velocità delle onde di taglio in corrispondenza della zona centrale della linea sismica.

L'elaborazione consiste nel ricavare, a partire dalle registrazioni in campo, l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e quindi il modello di velocità in funzione della profondità.

Nell'immagine che segue è riportato un esempio di diagramma velocità(di fase)/frequenza. In esso sono evidenti le direttrici di maggior potenza e con coerenza di fase: nell'immagine è possibile riconoscere il modo fondamentale delle onde di Rayleigh che si distingue da altri arrivi riconducibili alle onde di Rayleigh di ordine superiore o a onde di volume, o a spostamenti d'aria o ad altre forme di rumore incoerente.



Una volta individuato il modo fondamentale delle onde superficiali si procede al picking della curva di dispersione sperimentale e quindi alla trasformazione dell'allineamento di punti individuato in forma di un diagramma periodo-velocità di fase. Il passo successivo consente di ottenere il profilo con l'andamento delle Vs con la profondità e di confrontare quindi la curva di dispersione sperimentale con la curva di dispersione costruita sul modello fisico del sottosuolo. La procedura viene ripetuta iterativamente sino ad ottenere la convergenza tra modello teorico e sperimentale.

Il modello teorico che si può ottenere non è univoco ed è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.

MODALITÀ ESECUTIVE

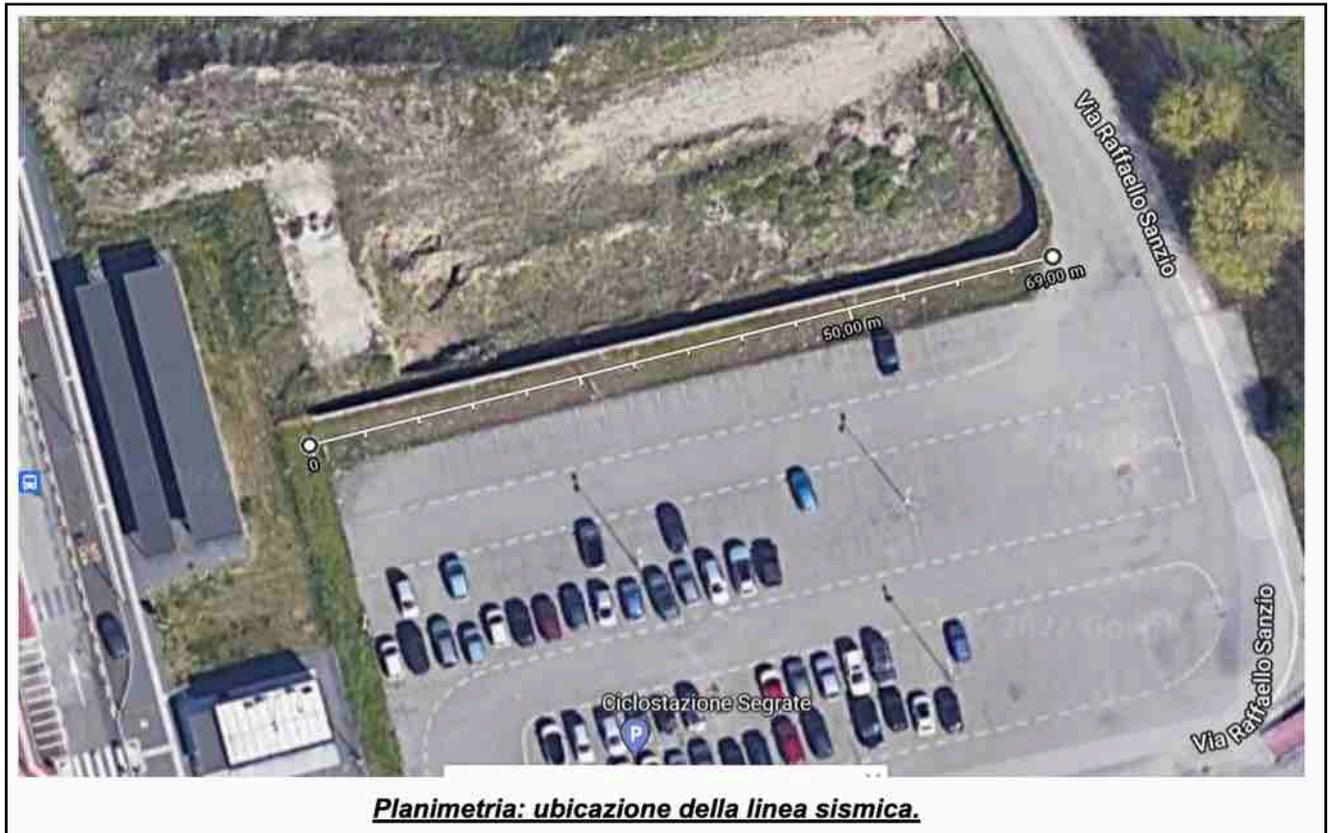
La registrazione delle onde di superficie viene effettuata con l'impiego di una classica apparecchiatura di acquisizione per sismica a rifrazione. E' necessario un sismografo ad elevata dinamica corredato da 24 geofoni a bassa frequenza (4.5 Hz). Nella fattispecie è stato utilizzato un sismografo GEODE (Geometrics) con risoluzione a 24 bit e 24 canali.



Le indagini sono state eseguite in corrispondenza di una linea sismica con le seguenti caratteristiche:

Linea	n° Geofoni	Spaziatura geofonica [m]	Lunghezza stendimento [m]
Linea sismica	24	3.0	69.0

Nella planimetria di pagina seguente viene mostrata l'ubicazione esatta della linea sismica;



In corrispondenza della suddetta linea sono state acquisite, 20 registrazioni MASW da 2 secondi ciascuna, posizionando i punti di energizzazione alle estremità della linea con un offset di 3.0 m. L'energizzazione è stata effettuata tramite una mazza strumentata corredata da un blocco in PVC.

Al termine delle misure si dispone di 20 registrazioni con sorgente attiva. Utilizzando un software dedicato (SurfSeis 3), i dati vengono elaborati congiuntamente in modo da avere una maggiore attendibilità e una più accurata risoluzione dei risultati.



ELABORAZIONE

L'elaborazione di dati di onde superficiali consiste nel ricavare, a partire dalle registrazioni in campo, l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e quindi il modello di velocità in funzione della profondità.

Una volta ricavato lo spettro FK ed individuato il modo fondamentale di propagazione, si procede al picking della curva di dispersione sperimentale e quindi alla trasformazione dell'allineamento di punti individuato in forma di un diagramma periodo-velocità di fase.

Attraverso un processo d'inversione della curva di dispersione (sperimentale) si ottiene il profilo con l'andamento delle Vs con la profondità e conseguentemente, una nuova curva di dispersione (teorica) da confrontare con la curva di dispersione ricavata dalle registrazioni. La procedura viene successivamente ripetuta iterativamente sino ad ottenere la migliore convergenza possibile tra modello teorico/sperimentale e le condizioni stratigrafiche esistenti, ricavate da indagini pregresse o effettuate successivamente.

Si ricorda infatti che il modello teorico che si può ottenere non è univoco ed è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.

RISULTATI

I risultati della presente campagna di indagine sono riportati nell'allegato; vengono mostrati i risultati relativi alle diverse fasi dell'elaborazione dei dati raccolti, ossia, lo spettro FK, le curve di dispersione sperimentale e teorica delle onde di Rayleigh e i modelli interpretativi (profilo di velocità delle onde di taglio) che ne derivano previa inversione dei dati.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs negli strati di copertura e nei primi orizzonti sino ad una profondità di circa 34.0m dal piano campagna. La buona qualità dei segnali registrati attestano l'affidabilità dei risultati ottenuti.

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei siti in esame, utilizzando il valore del parametro $V_{S,eq}$ ottenuto dalla relazione:

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

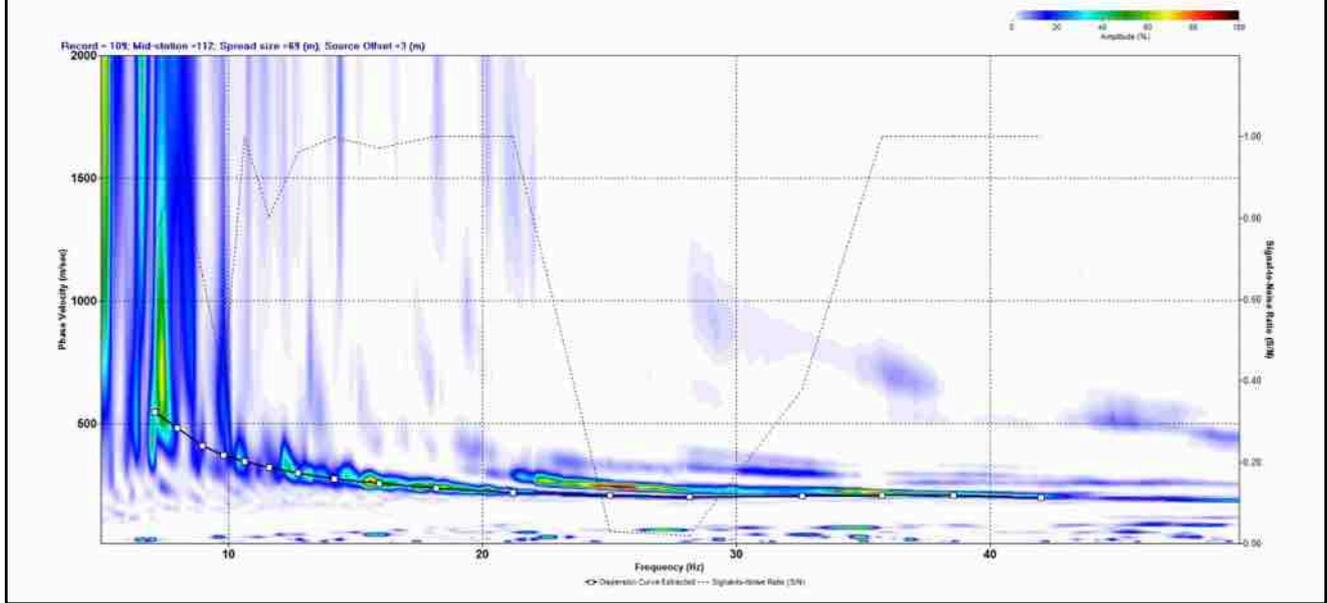
dove h_i e $V_{S,i}$ indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi H metri di sottosuolo a partire dalla superficie, dove H indica la profondità del bedrock, nei casi in cui questa sia inferiore ai 30m di profondità, si ottiene che il sito in esame appartiene alla categoria di B (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800

m/s) con un valore di $V_{s,eq30}$ pari a 379m/s; di seguito viene proposta una tabella riassuntiva con i valori ottenuti.

Risultati Masw		
Intervallo di profondità [m]		Velocità V_s [m/s]
0.0	1.0	235
1.0	2.4	229
2.4	4.0	267
4.0	6.0	280
6.0	8.6	297
8.6	11.8	319
11.8	15.7	394
15.7	20.7	445
20.7	27.0	539
27.0	33.7	736
$V_{s,eq30}[m/s]=$	379	Suolo tipo B

Linea sismica

Spettro FK



Profilo di velocità delle onde di taglio (Vs)

