

Regione Lombardia



Comune di Viganò



Provincia di Lecco

COMUNE DI VIGANÒ

PIANO DELLE REGOLE

EL. TESTUALE	<h1>G6</h1>	<p>OGGETTO</p> <p>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</p> <p>Relazione geologica</p>
<p>Estensori</p> <p>Dott. Geol. Matteo Rota</p> <p style="text-align: right;">Dott. Geol. Luigi Corna</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Matteo Rota</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><small>Corna Pelizzoli Rota s.r.l. Società di Ingegneria Sede: Via Comdoni n. 27 - 24124 Bergamo C.F. e P.IVA: 03455600167 - N.REA: BG-0380191 Tel. 035 4175299 http://www.studiotecnogeo.it</small></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Luigi Corna</i></p> </div> </div>		
Data:		Scala:
Novembre 2024		
Adottato con	D.C.C. n.8	del 07.05.2024
Approvato con	D.C.C. n.	del
Publicazione sul BURL SAC n.		del
Publicazione sul BURL SAC n.		del

INDICE

1. PREMESSA	3
2. VALUTAZIONI RELATIVE AL FENOMENO DELLE SINKHOLE	4
3. FASE DI ANALISI	4
3.1. Analisi della pericolosità sismica	4
3.1.1. Effetti di sito o di amplificazione sismica locale	4
3.1.2. Effetti di instabilità	5
3.2. Analisi di primo livello e carta della pericolosità sismica locale (Tavola G1a).....	5
3.2.1. Metodologia usata per la redazione della carta della pericolosità sismica locale	6
3.3. Analisi di secondo livello e carta di valutazione degli effetti sismici (Tavola G1b)	8
3.3.1. Concetti generali dell'analisi	8
3.3.2. Descrizione della procedura di analisi (estratto dalla norma regionale)	9
3.3.3. Analisi svolta per il territorio di Viganò.....	12
4. FASE DI SINTESI/VALUTAZIONE.....	18
4.1. Carta di sintesi (Tavola G2).....	18
4.2. Carta PAI – PGRA (non redatta per assenza di elementi).....	19
5. FASE DI PROPOSTA	19
5.1. Carta dei Vincoli (Tavola G3).....	19
5.2. Carta di fattibilità geologica (Tavola G4 – G5)	22
5.2.1. Criteri per l'attribuzione delle classi di fattibilità geologica	22
6. NORME GEOLOGICHE DI PIANO	23
6.1. Normativa d'uso derivante dalla fattibilità geologica	23
6.1.1. CLASSE 1 – FATTIBILITA' SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI.....	23
6.1.2. CLASSE 2 – FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI	23
6.1.3. CLASSE 3 – FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI.....	24
6.1.4. CLASSE 4 – FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI.....	27
6.2. Normativa d'uso derivante dalla componente sismica	29

ALLEGATI INTERNI ALLA RELAZIONE

ALLEGATO 1: Descrizione metodologia esecuzione indagini geofisiche

ALLEGATO 2: Indagini svolte a supporto del PGT

ALLEGATO 3: Indagini fornite dal Comune

ALLEGATO 4: Stratigrafie pozzi

CARTOGRAFIA COSTITUENTE LA COMPONENTE GEOLOGICA

Documentazione mantenuta redatta nel 2005

Tav. 01 – Carta di inquadramento geologico strutturale – scala 1:5.000

Tav. 02 – Carta geomorfologica - scala 1:5.000

Tav. 03 – Carta idrogeologica del sistema idrografico e della permeabilità - scala 1:5.000

Tav. 04 – Carta geologico tecnica e della dinamica geomorfologica di dettaglio - scala 1:2.000

Tav. 07 – Carta del bacino idrografico - - scala 1:10.000

Tav. 09 – Carta del reticolo idrografico - scala 1:5.000

Relazione geologica (con omessa la parte della fattibilità geologica)

Cartografia revisionata 2024

Tavola G1a – Carta degli Scenari di Pericolosità Sismica Locale - scala 1:5.000

Tavola G1b – Carta di valutazione degli effetti sismici i sito - Approfondimenti di secondo livello - scala 1:5.000

Tavola G2 – Carta di Sintesi- scala 1:5.000

Tavola G3 – Carta dei Vincoli - scala 1:2.000

Tavola G4 – Carta di Fattibilità Geologica - scala 1:2.000

Tavola G5 – Carta di Fattibilità Geologica - scala 1:5.000

1. PREMESSA

Il Comune di Viganò con determinazione n. 43 del 26-10-2022 e successiva determina n. 58 del 22-10-2024 ha conferito alla scrivente Società di Ingegneria l'incarico per l'aggiornamento della "Componente Geologica idrogeologica e sismica" della Variante al PGT.

La direttiva tecnica (D.G.R. n. 2616 del 15 Dicembre 2011 "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T.") nasce espressamente "dedicata" al nuovo strumento urbanistico comunale introdotto dalla legge 12/2005 riunendo e coordinando in un unico documento tutti i precedenti criteri tecnici e gli iter procedurali legati alla componente geologica di supporto alla pianificazione urbanistica.

Successivamente con d.g.r. n. 6738 del 2017 e d.g.r. n. 470 del 2018 sono state introdotte le norme inerenti al rischio idraulico ed in particolare le verifiche di congruenza con il PGRA.

Infine con d.g.r. n. 7564 del 2022 si sono istituite le norme relative al tema degli sprofondamenti (sinkhole).

Lo Studio Geologico si inserisce nel Piano di Governo del Territorio in quanto il Documento di Piano lo contiene integralmente rappresentando una delle componenti del quadro conoscitivo del territorio comunale e costituisce base per le scelte pianificatorie; il Piano delle Regole contiene come parti integranti le fasi di sintesi/valutazione e proposta (Carte di Sintesi, dei Vincoli, di Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano e Norme geologiche di Piano), in quanto contribuiscono alla definizione della normativa d'uso del territorio.

Quindi, il Piano di Governo del Territorio per la componente geologica:

- nel Documento di Piano definisce l'assetto geologico, idrogeologico e sismico del territorio;
- nel Piano delle Regole individua le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate.

Il comune di Viganò è già dotato di una componente geologica predisposta nell'ambito dei precedenti PGT che:

- ha concluso l'iter del PAI;
- non ha eseguito la verifica con il PGRA;
- non considera la componente sismica di secondo livello;
- non ha acquisito le indicazioni sugli orli morfologico presenti nel PTCP di Lecco.

Per i motivi sopra esposti si è previsto di procedere all'adeguamento dello strumento urbanistico mediante:

- limitate revisioni per quanto attiene le valutazioni sulla pericolosità delle problematiche di dissesto rilevate, che non hanno comportato la necessità di procedere a modifiche dell'assetto PAI - PGRA;
- la revisione e l'integrazione della fase di analisi relativamente all'analisi di pericolosità sismica, in particolare mediante lo sviluppo di approfondimenti di secondo livello sismico;
- la revisione delle cartografie della fase di sintesi/valutazione e di proposta.

Si specifica che per quanto attiene i contenuti della relazione del 2012 essa è stata riportata nella presente apportando solo piccole modifiche o omissioni relativi ai nuovi contenuti.

2. VALUTAZIONI RELATIVE AL FENOMENO DELLE SINKHOLE

Dalle verifiche, indagini disponibili e dai dati storici, è emerso che per il territorio comunale non vi sono problematiche relative a fenomeni di sprofondamenti (sinkhole).

Per tale motivo non si è proceduto alla redazione di cartografie specifiche.

3. FASE DI ANALISI

La documentazione della fase di analisi risultano confermate ed integrate in particolare l'analisi sismica di secondo livello.

Nella componente geologica sono mantenute e fanno parte del presente studio i seguenti documenti già agli atti e redatti a supporto del PGT nell'anno 2005:

- Tav. 01 – Carta di inquadramento geologico strutturale
- Tav. 02 – Carta geomorfologica
- Tav. 03 – Carta idrogeologica del sistema idrografico e della permeabilità
- Tav. 04 – Carta geologico tecnica e della dinamica geomorfologica di dettaglio
- Tav. 07 – Carta del bacino idrografico
- Tav. 09 – Carta del reticolo idrografico
- Relazione geologica (con omessa la parte della fattibilità geologica)

3.1. Analisi della pericolosità sismica

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto ha una rilevanza fondamentale l'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area. In funzione delle caratteristiche dei terreni presenti nel Comune si distinguono due grandi tipi di effetti locali; quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.

3.1.1. Effetti di sito o di amplificazione sismica locale

Tali effetti interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, e sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento) relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti al bedrock a causa dell'interazione delle onde sismiche con particolari condizioni locali.

Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito.

Gli effetti di amplificazione topografica si verificano quando le condizioni locali sono rappresentata da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale. Tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo e seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello di fatto. Se l'irregolarità topografica è rappresentata dal substrato roccioso si verifica solo l'effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiale non roccioso l'effetto amplificatorio è la risultante tra effetto topografico e litologico.

Gli effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche. Tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno e fenomeni di risonanza.

3.1.2. Effetti di instabilità

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti:

- nel caso di versanti in equilibrio precario si possono verificare fenomeni di riattivazione e neoformazione di movimenti franosi per cui il sisma rappresenta un fenomeno d'innescò, sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo, sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali;
- nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche, si possono verificare movimenti relativi verticali o orizzontali tra diversi settori;
- nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico meccaniche, inoltre, si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo, per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni fini sabbiosi saturi sono possibili fenomeni di liquefazione;
- nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo, si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dal D.M. del 17 gennaio 2018, della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o n. 19904 del 21 novembre 2003, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

Si specifica a questo proposito che, ai sensi del d.m. 17 gennaio 2018, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione, non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito.

3.2. Analisi di primo livello e carta della pericolosità sismica locale (Tavola G1a)

Per quanto riguarda la metodologia dello studio e le risultanze delle valutazioni attinenti all'analisi di primo livello si è fatto riferimento allo studio già redatto nel 2012. La revisione ha previsto solo l'esclusione dello scenario Z5 in quanto non vi sono dati certi e sicuri per le due faglie riportate.

Di seguito (e nel capitolo precedente) si riportano le valutazioni dello studio citato mentre la cartografia è stata ridigitalizzata e restituita nella carta G1a – Carta della pericolosità sismica locale.

Tutti i comuni devono eseguire almeno il livello 1, ossia il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti.

Questo livello prevede la realizzazione della carta di pericolosità sismica locale (PSL), nella quale deve essere individuata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo (secondo la Tabella 1 di seguito riportata) in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Variante al PGT del comune di Viganò
Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica

Tabella 1: scenari di pericolosità sismica locale.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Il livello 2 è obbligatorio per i comuni ricadenti in zona 3 (come nel caso del territorio comunale di Viganò) per le aree di PSL (pericolosità sismica locale) Z3 e Z4.

Per le aree ricadenti in ambiti di pericolosità sismica locale Z1 (non presenti nel territorio comunale di Viganò) e Z2, nella definizione di eventuali previsioni concernenti edifici strategici o rilevanti, non è previsto un approfondimento di 2° livello, ma il passaggio diretto ad approfondimenti di 3° livello.

Per le aree ricadenti in ambiti di pericolosità sismica di tipo Z5 (non presenti nel territorio comunale di Viganò), nella definizione di eventuali previsioni concernenti edifici strategici o rilevanti, è fatto obbligo in fase progettuale di rimuovere la limitazione o di adottare opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

3.2.1. Metodologia usata per la redazione della carta della pericolosità sismica locale

Per la definizione delle diverse aree di possibile amplificazione sismica e elementi lineari di amplificazione ci si è basati sulla cartografia esistente ossia sulla carta geologica, geomorfologica, e strutturale.

Nel territorio comunale di Viganò non sono presenti gli scenari di pericolosità sismica Z1.

Per quanto riguarda le aree Z2 ossia aree soggette a cedimenti o liquefazione, si è fatto riferimento ai dati noti da studi precedenti e alla carta di pericolosità sismica (carta G1a), individuando zone con depositi scadenti all'interno del territorio comunale, sufficientemente estese da poter essere indicate nella carta di PSL.

Per l'individuazione degli elementi lineari Z3 creste e scarpate ci si è basati principalmente sulla carta geomorfologica e in linea generale sulla base fotogrammetrica al 2.000 (vedi anche Figura 1) comunale e sulla base del CTR scala 1:10.000.

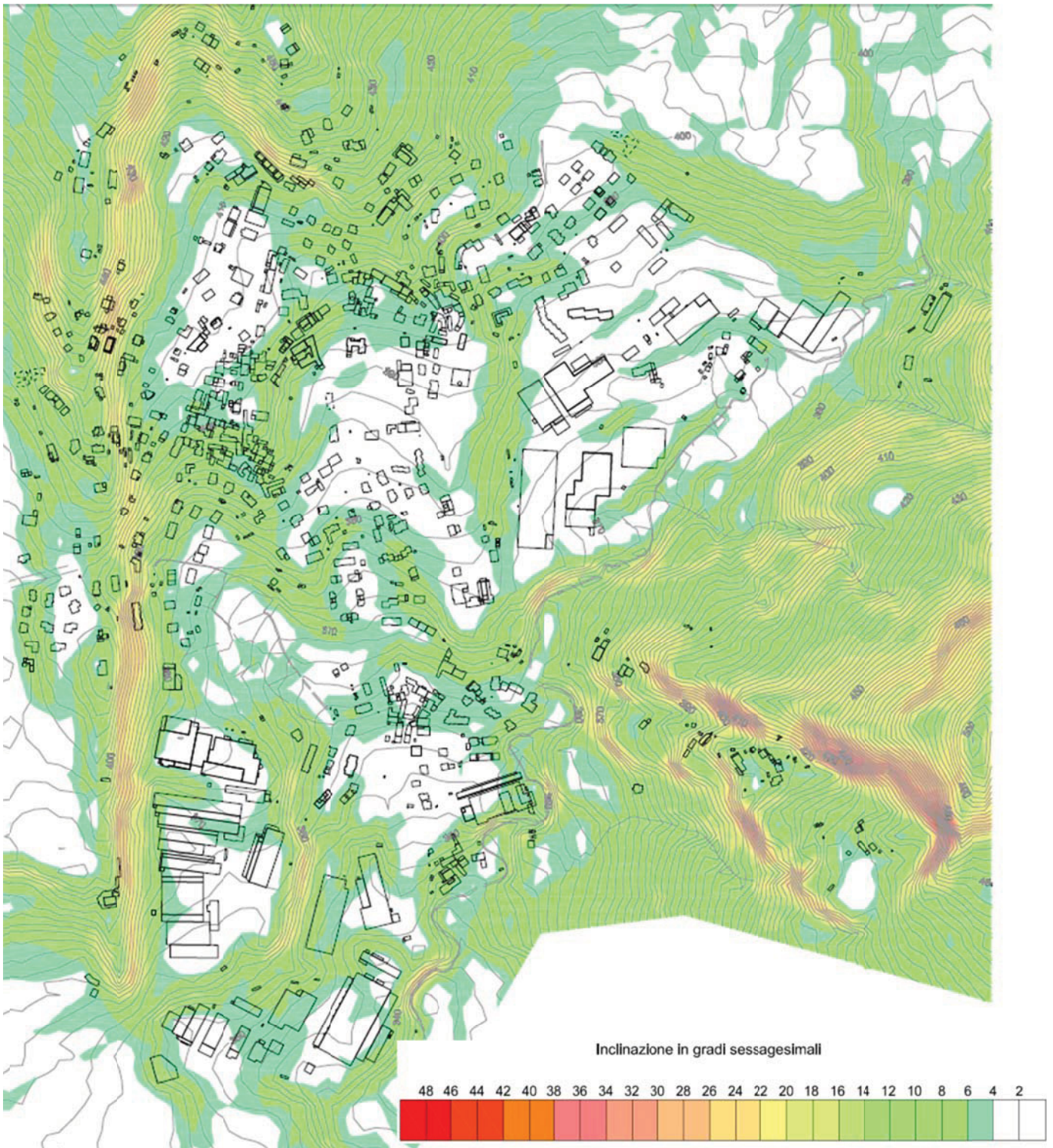
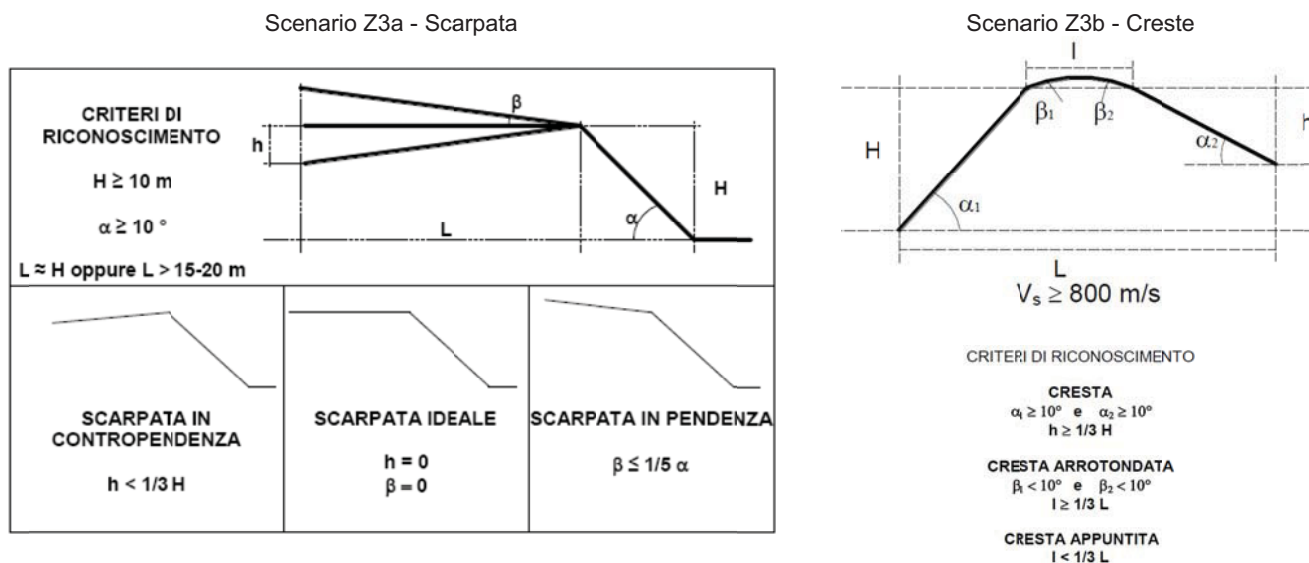


Figura 1: estratto della carta delle inclinazioni dello studio geologico del 2012.

Variante al PGT del comune di Viganò
Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica

L'individuazione di tali elementi lineari è avvenuta mediante le procedure di verifica proposte dalla Regione, ossia sono state cartografate i tratti di cresta e di cigli di scarpata aventi i requisiti richiesti dall'allegato 5 ai criteri attuativi della L.R. n. 12 11/3/05 e successive modifiche o aggiornamenti.

Tabella 2: schema individuazione effetti morfologici.



Per l'individuazione delle zone Z4 si è fatto riferimento prevalentemente alle carte geologiche - strutturali e geomorfologiche comunali, nonché ad indagini e bibliografia esistente.

3.3. Analisi di secondo livello e carta di valutazione degli effetti sismici (Tavola G1b)

Di seguito si riporta l'analisi di secondo livello specificatamente svolta per il territorio comunale di Viganò, le cui risultanze sono state rappresentate nella tavola G1b.

Per quanto concerne le aree classificate nella cartografia della Pericolosità Sismica nello scenario Z1, effetti di instabilità, e Z2, cedimenti e liquefazioni, esse sono state escluse dalle valutazioni di secondo livello in quanto la normativa prevede che per esse si proceda in automatico ad analisi di terzo livello nella fase di progettazione.

3.3.1. Concetti generali dell'analisi

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di F_a .

Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0.1-0.5 s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0.5-1.5 s.

La norma prevede che nel caso vi sia la presenza contemporanea di effetti litologici (Z3) e morfologici (Z4) si dovranno analizzare entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole. Nel caso del territorio di Viganò tale concomitanza non si presenta nella carta delle PSL.

3.3.2. Descrizione della procedura di analisi (estratto dalla norma regionale)

3.3.2.1. Effetti morfologici

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10°; il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche: sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) (scheda di valutazione).

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una V_s maggiore o uguale ad 800 m/s.

Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base (L) (cresta appuntita);
- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (cresta arrotondata).

Per l'utilizzo della scheda di valutazione si richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- larghezza alla base del rilievo L ;
- larghezza in cresta del rilievo l ;
- dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti;
- coefficiente di forma H/L .

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s, in base al valore del coefficiente di forma H/L .

Il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta l , mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.

I valori di F_a così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di F_a ottenuti dalla scheda di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zone 2, 3 e 4) e per suolo di tipo A ($V_s \geq 800$ m/s) e per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con la scheda di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di F_a è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1);
- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).

3.3.2.2. Effetti litologici

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Di seguito si riporta sinteticamente la procedura seguita per l'analisi di secondo livello di cui, a titolo di esempio, si rimanda alla Figura 3.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento (vedi passaggio 1a di Figura 3).

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità (vedi passaggio 1b di Figura 3); in particolare si dovrà verificare l'andamento delle V_s con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di V_s inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella

riscontrata nell'indagine. Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di V_s con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di F_a (vedi passaggio 2 di Figura 3). Tale passaggio è utile per il solo intervallo $T=0.1-0.5$ s ove sono identificate tre differenti curve, mentre per l'intervallo $0.5-1.5$ s è presente una unica curva.

Il valore di V_s dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di V_s dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 220 m/s si sceglierà il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione). Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità V_s calcolata come media pesata del valore di V_s degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore.

In generale nelle tabelle di calcolo si è deciso di non considerare il primo metro di profondità del primo strato, poiché esso è composto nella quasi totalità dei casi da terreni di riporto, non considerati dunque rilevanti per il calcolo del F_a e del periodo proprio del sito e comunque di norma sovrastanti le opere di fondazione.

Il periodo proprio del sito T necessario per individuare il fattore di amplificazione (vedi passaggio 3 di Figura 3) è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione, ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Il valore di F_a determinato (vedi passaggio 4a e 4b di Figura 3) dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo $0.1-0.5$ s e $0.5-1.5$ s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto

Variante al PGT del comune di Viganò
Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica

dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito. Di seguito si riportano i valori definiti per il territorio comunale di Viganò.

COMUNE	INTERVALLO	Valori soglia			
		B	C	D	E
VIGANO'	0.1 - 0.5	1,4	1,8	2,2	2,0
VIGANO'	0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 3: valori di soglia (come da normativa nazionale) per il comune di Viganò.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1);
- il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di Vs, utilizzati nella procedura di 2° livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la seguente tabella:

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 4 – Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi

3.3.3. Analisi svolta per il territorio di Viganò

3.3.3.1. Effetti morfologici

Nel territorio comunale di Viganò nella tavola delle PSL sono state individuate varie fasce di zone di cigli o scarpate (Z3a) e di cresta o cucuzzolo (Z3b).

Analizzando svariate sezioni topografiche, tra le più rappresentative dei massimi fenomeni di amplificazione individuabili, è risultato che il fattore di amplificazione risulta sempre inferiore a 1,2 poiché il rapporto tra la larghezza alla base L e l'altezza H è basso.

Pertanto l'utilizzo della classe T2-T3 della normativa, che presenta fattori di amplificazione di 1,2 è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.

In sintesi, non sono stati rilevati effetti di amplificazione morfologica rilevanti motivo per cui non si è riportata alcuna scheda a titolo di esempio e nemmeno la sintesi delle elaborazioni svolte.

3.3.3.2. Amplificazione litologiche

3.3.3.2.1. Dati considerati per la definizione del modello sismico e litologico locale

Per caratterizzare il profilo delle Vs si è fatto riferimento alle indagini disponibili e fornite dal Comune, dalle stratigrafie dei pozzi per acqua, integrate da ulteriori e specifiche indagini geofisiche da noi eseguite. Queste sono state collocate in punti significativi e rappresentativi che hanno permesso di caratterizzare l'intero territorio comunale. Per ogni nuovo sito di indagine sono state eseguite indagini mediante la tecnica tomografica, MASW e HVSR; la descrizione delle metodologie utilizzate per le indagini sono state riportate nell'allegato n. 1.

Per la ricostruzione delle caratteristiche litologiche si sono considerati tutti i dati disponibili, ricomprendendo anche la nuova carta geologica predisposta nell'ambito del progetto CARG (alla cui bibliografia si rimanda per la descrizione delle caratteristiche litologiche), ed in particolare le stratigrafie dei pozzi per acqua; nella documentazione del PGT si sono riportate solo le stratigrafie ritenute utili e rappresentative.

Per quanto riguarda le nuove indagini eseguite specificatamente per il PGT, esse sono indicate con i numeri da 1 a 5; mentre le indagini preesistenti e fornite dal Comune con i numeri romani scritti da I a V.

Buona parte dei dati sono riportati nella tavola dell'analisi di secondo livello allegata alla presente.

In Figura 2 si riporta l'ubicazione delle indagini più significative considerate. La linea rossa riportata per ciascuna indagine geofisica identifica lo sviluppo dello stendimento effettuato (tomografia e MASW, mentre la HVSR è stata posizionata nel punto mediano dello stendimento).

Variante al PGT del comune di Viganò
Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica

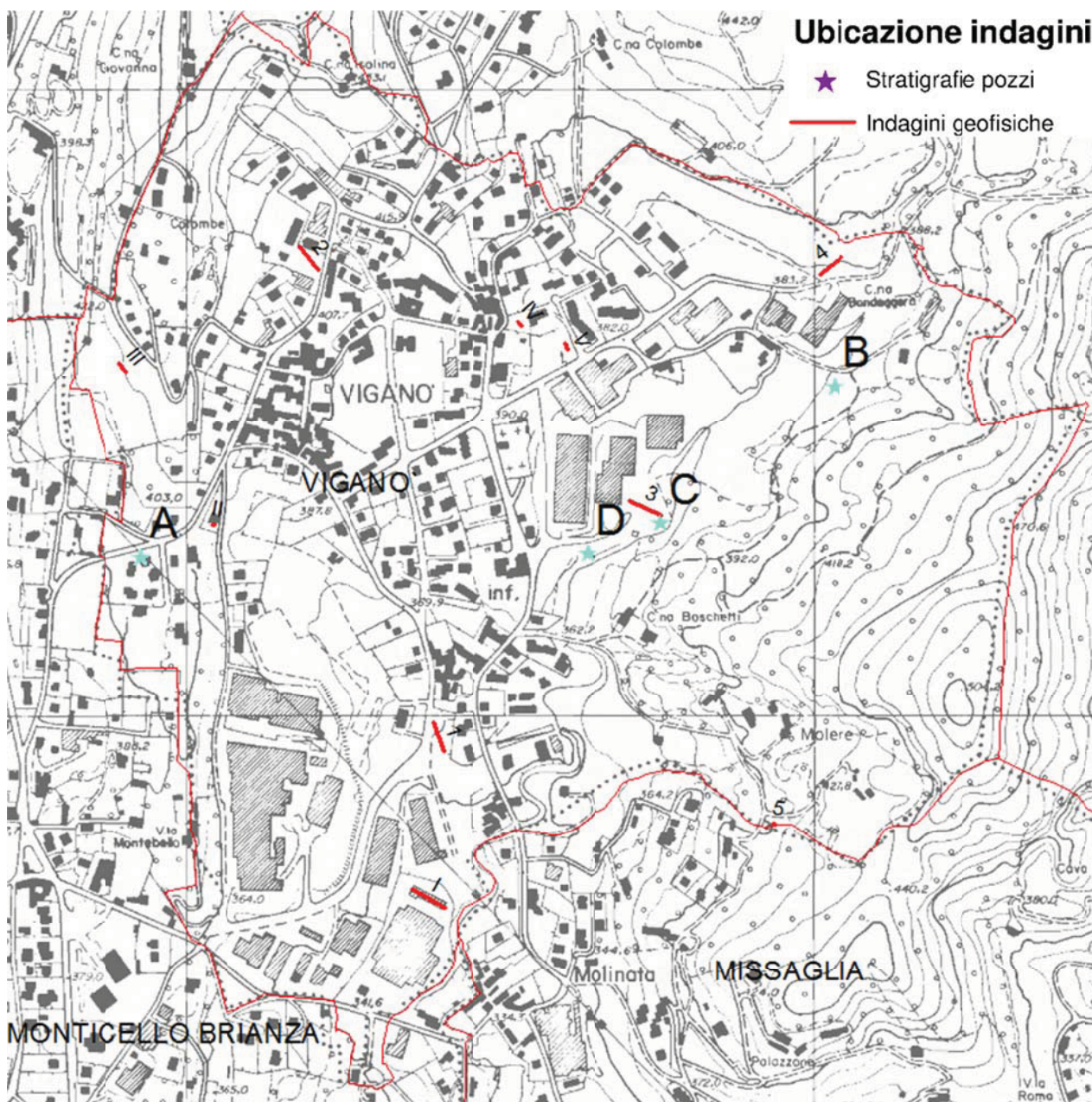


Figura 2: ubicazione delle indagini e stratigrafie considerate.

La sintesi delle risultanze delle indagini svolte e del modello sismico e litologico derivati per ciascun sito, sono state riportate nell'allegato n. 2 per i siti 1-5 (le cui indagini sono state svolte specificatamente per il PGT), mentre nell'allegato n. 3 si sono riportate quelle fornite dal Comune.

Dall'analisi di secondo livello sono state escluse le aree identificate nella Carta di Pericolosità sismica (Carta PSL) come Z1 e Z2, nelle quali si devono eseguire specifiche e puntuali indagini a supporto di ciascun intervento in progetto.

3.3.3.2.2. Analisi svolta per il calcolo F_a atteso al sito

Per ogni Sito si è proceduto alla definizione del Fattore di amplificazione atteso al sito applicando la procedura proposta dalla normativa regionale, mediante l'utilizzo delle schede di cui all'allegato 5 della D.G.R. n. 2616 del 15 dicembre 2011.

La principale difficoltà nella procedura risulta essere la scelta della scheda litologica. Nella zona di Viganò sono presenti dei depositi misti contenenti percentuali variabili sia di materiale fine, prevalentemente limo, che di sabbia e ghiaia, pertanto le uniche schede che dal punto di vista litologico risultano rappresentative della media dei depositi presenti nell'area considerata, sono la sabbiosa o la ghiaiosa. Nella scelta della scheda si è inoltre considerato il campo di validità dell'andamento delle V_s con la profondità.

Nella Tabella 5 si riporta la sintesi del grado di attendibilità dei dati acquisiti.

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (V_s)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 5 – Livelli di attendibilità dei dati utilizzati.

L'analisi del fattore di amplificazione è stata svolta secondo la procedura illustrata nel cap. n. 3.3.2.1 a cui si rimanda per le valutazioni specifiche.

A titolo di esempio in Figura 3 si è riportata la procedura ed i risultati ottenuti per l'indagine del Sito 1, procedura valida per tutti gli altri Siti.

Variante al PGT del comune di Viganò
Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica

Indagine Sito 1

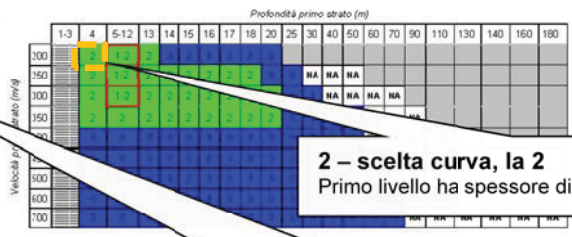
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
 Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:
 Comportamento granulare
 Struttura granulo-sostenuta
 Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
 Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
 Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

1a – scelta scheda di riferimento
 Dal modello geologico= Limoso-sabbiosa tipo 1



2 – scelta curva, la 2
 Primo livello ha spessore di 4 m con $V_s=200$ m/s

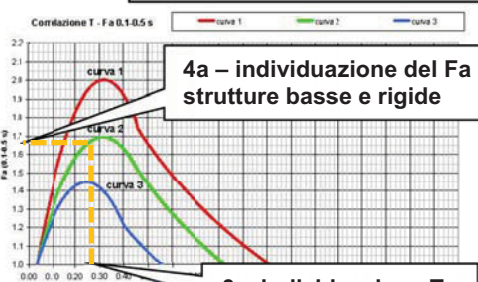
H (m)	V_s (m/s)
3,1	200
7,8	420
5,9	490
25,7	730

ove la sigla NA indica $F_a = 1$

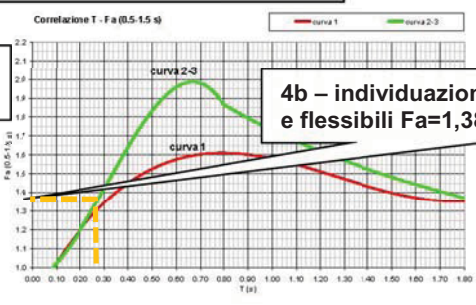
1b – verifica validità scheda di riferimento
 Andamento V_s con profondità derivato dalla MASW 1

Red box: $V_s < 300$ m/s
Grey box: $V_s > 500$ m/s

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggianti su strato con velocità maggiore di 500 m/s



4a – individuazione del F_a per strutture basse e rigide



4b – individuazione del F_a per strutture alte e flessibili $F_a=1,38$

3 – individuazione T
 Si ha 0,28 s

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $F_{0.105} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $F_{0.105} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $F_{0.105} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $F_{0.105} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.94$	$0.45 < T \leq 0.98$ $F_{0.105} = 0.93 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $F_{0.105} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $F_{0.105} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.96$	$0.50 < T \leq 0.55$ $F_{0.105} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $F_{0.105} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $F_{0.515} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $F_{0.515} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $F_{0.515} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 3: esempio scheda di valutazione dell'analisi di secondo livello. Sito A

3.3.3.2.3. Risultati - Valutazione del grado di protezione

Definito il fattore di amplificazione previsto al suolo per ciascun Sito si conclude l'analisi confrontando il F_a ottenuto dalle schede (vedi capitolo precedente), con valori di analogo significato derivati dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18), specifici per ogni comune e indicati per ciascuna classe di suolo. Si ribadisce che il grado di attendibilità attribuiti ai risultati dell'analisi dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, utilizzati per individuare la tipologia di scheda da utilizzare nell'analisi, sono stati riportati in Tabella 5.

Nella tabella seguente si è riportata per ciascun Sito la sintesi dei risultati ottenuti dalla procedura di secondo livello sismico.

Indagine	$V_{seq}(m/s)$	Classe NTC18	Scheda	Primo strato		Curva	$T_s (s)$	0,1s-0,5 s		0,5s-1,5 s	
				Spessore(m)	$V_s(m/s)$			F_a	Class	F_a	Class
1	523	B	Sabbiosa	4	200	2	0,28	1,68	C	1,38	B
2	491	B	Sabbiosa	5,2	270	2	0,25	1,67	C	1,31	B
3	451	B	Sabbiosa	5,1	220	2	0,25	1,67	C	1,31	B
4	431	B	Sabbiosa	4,5	225	2	0,25	1,67	C	1,31	B
5	369	B	Ghiaiosa	8	369	3	0,08	1,3	B	1	B
I	554	B	Sabbiosa	6,1	350	2	0,39	1,67	C	1,61	B
II	382	B	Sabbiosa Ghiaiosa	7	382	3	0,06	1,09	B	1	B
III	371	B	Sabbiosa	4	250	2	0,28	1,67	C	1,38	B
IV	304	C	Sabbiosa	4	250	2	0,56	1,4	C	1,91	C
V	494	B	Sabbiosa	5,2	327	2	0,21	1,61	C	1,21	B

Tabella 6: sintesi dell'elaborazione dell'analisi di secondo livello sismico per ciascun Sito. L'indagine II non è stata considerata nelle valutazioni finali.

Dalle indagini svolte è risultato che nella zona sono presenti depositi prevalentemente granulari ma eterogenei con *bedrock* posto a profondità variabili da pochi metri fino a 50 m, comportando l'individuazione di terreni caratterizzati da suoli attribuibili alla classe di suolo B o C.

Per Quanto concerne la zona collinare posta a Est dove emerge la presenza della roccia a profondità inferiori a 30 m, si è definita sulla base dell'indagine 5 una zona in cui è possibile per qualsiasi periodo mantenere la classe di suolo derivante dall'indagine geofisica. Il limite con le restanti aree classificate come Z4 è stato posizionato indicativamente nella zona ove è possibile prevedere l'individuazione della roccia ad oltre 30 m di profondità.

Si specifica che l'indagine II ha presentato un basso grado di affidabilità relativamente ai criteri Sesame, fornendo un profilo V_s estremamente differente dalle restanti, pertanto seppur si sia eseguita la valutazione di secondo livello si è ritenuto di non considerarla nella valutazioni finali. In questa zona collinare del settore SW del territorio comunale si è previsto pertanto di mantenerla nelle aree soggette ad approfondimenti di terzo livello. In fase di progettazione il Professionista sulla base di indagini e valutazioni specifiche, potrà eventualmente definire di mantenere la categoria di sottosuolo derivata dall'indagine anche senza indagini di terzo livello.

Dall'analisi di secondo livello è comunque emerso che per gli edifici bassi e rigidi compresi nella categoria del periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s indifferentemente dalle caratteristiche locali la classe di suolo caratteristica delle NTC18 in grado di coprire i fattori di amplificazione calcolati, è nella quasi totalità dei casi la C (ad eccezione dell'indagine II dove risulta una B ma ciò è probabilmente dovuto ad un'imprecisione nell'acquisizione dei dati). Pertanto in fase di progettazione si dovrà procedere con specifiche analisi di terzo livello sismico oppure attribuire la classe di suolo C.

Per quanto concerne invece gli edifici alti e flessibili con periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s la classe di suolo caratteristica delle NTC18 risulta nella quasi totalità dei casi compatibile, in particolare risulta essere una B (ad eccezione dell'indagine IV ove risulta essere una C, ma ciò è probabilmente dovuto ancora una volta ad un'imprecisione nell'acquisizione dei dati durante l'indagine). Pertanto in fase di progettazione sarà possibile attribuire la classe di suolo derivante dall'indagine svolta.

Per la normativa da applicare si rimanda al cap. 6.2.

4. FASE DI SINTESI/VALUTAZIONE

4.1. Carta di sintesi (Tavola G2)

La carta di sintesi è stata redatta su tutto il territorio comunale in scala 1:5.000 e rappresenta delle aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera.

Di seguito sono riportati gli ambiti di pericolosità e vulnerabilità considerati durante il presente studio e riportati sulla carta di sintesi.

Aree a pericolosità/vulnerabilità elevata

- aree a elevata acclività (aree molto acclivi, non accessibili, poco indagate o potenzialmente soggette a fenomeni gravitativi);
- aree con ristagni d'acqua;
- aree di pertinenza idraulica a disposizione per la gestione del corso d'acqua (trasporto in massa o erosione, o aree da mantenere a disposizione per accessibilità e manutenzione).

Aree a pericolosità/vulnerabilità medio-bassa

- aree a pericolosità potenziale medio – bassa generica (aree acclivi, zone collinari non inserite in altri ambiti, aree da sottoporre ad approfondimenti geologico – tecnici);
- depositi caratterizzati da scadenti caratteristiche meccaniche;
- fasce di transizione fra ambiti a pericolosità elevata e bassa.

Aree a pericolosità/vulnerabilità bassa (la definizione di questi ultimi ambiti, si è fatto riferimento alla carta delle inclinazioni elaborata su base fotogrammetrica e riportata in Figura 1)

- aree a pericolosità geologica, idrogeologica e idraulica bassa;
- aree a pericolosità geologica, idrogeologica e idraulica molto bassa.

Elementi di rilevanza geomorfologica (definiti sulla base del PTCP di Lecco, con la procedura indicata capitolo n. 5.1 al relativo paragrafo)

- orlo di terrazzo.

4.2. Carta PAI – PGRA (non redatta per assenza di elementi)

Nella cartografia del Piano di Assetto idrogeologico (PAI) ed egualmente nel Piano di Gestione del Rischio alluvioni (PGRA) per il territorio comunale di Viganò non sono individuati elementi di dissesto.

Dalle analisi svolte non si sono individuati elementi significativi da segnalare.

Pertanto non è stata redatta alcuna cartografia.

5. FASE DI PROPOSTA

5.1. Carta dei Vincoli (Tavola G3)

La carta dei vincoli è stata redatta su tutto il territorio comunale in scala 1:2.000 e riporta le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore.

Di seguito sono riportati i vincoli riportati nella cartografia.

Fasce di rispetto idraulico – Reticolo Minore

Le aree ricadenti nelle fasce di rispetto del Reticolo Idraulico Minore, sono soggette alla normativa di cui al regolamento di polizia idraulica comunale.

Per le relative norme da applicare all'interno delle fasce di rispetto del reticolo idrico si rimanda allo "Studio del Reticolo Minore" al quale si deve far riferimento nella definizione delle attività vietate ed ammesse.

Fasce di rispetto pozzi ad uso idropotabile

Si individua un solo pozzo nel settore NNE prossimo al confine comunale.

Le aree sono soggette all'applicazione di quanto previsto alla normativa vigente (D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.), in particolare l'art. 94 del Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 che norma le zone di tutela assoluta e di rispetto.

Zona di Tutela assoluta - Art 94 comma 3 L152/2006

La zona di tutela assoluta è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni; essa, in caso d'acque sotterranee e, ove possibile, per le acque superficiali, deve avere un'estensione di almeno dieci metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio.

Fascia di rispetto - Art 94 comma 4 L 152/2006

La zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali - quantitative della risorsa idrica;
- h) gestione di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;
- n) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. E' comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

All'interno della fascia di rispetto si applica anche quanto previsto dal D.Lgs. 18-08-2000 n. 258 e della D.G.R. 10-04-2003 n. 7/12693; l'attuazione degli interventi e delle attività elencate all'art. 5 comma 6 del citato decreto legislativo (edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione, fognature, opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio) è subordinata all'effettuazione di uno studio idrogeologico che accerti la compatibilità dell'intervento con il rischio di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee e dia prescrizioni apposite sulle modalità di attuazione degli interventi stessi. In ogni caso laddove siano previsti insediamenti industriali e/o artigianali si dovranno realizzare due piezometri, uno a monte ed uno a valle dell'area d'intervento dove poter controllare in caso di necessità le variazioni di livello delle acque sotterranee e la qualità chimica dell'acqua.

Di seguito si riporta sinteticamente l'elenco delle attività vietate o che è opportuno evitare entro le fasce di rispetto dei due pozzi pubblici comunali, rimandando alle normative suddette per ulteriori dettagli:

- 1. dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;
- 2. accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- 3. spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- 4. dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- 5. aree cimiteriali;
- 6. apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- 7. apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;

8. gestione di rifiuti;
9. stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
10. centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
11. pozzi perdenti;
12. pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione; è comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.
13. realizzazione di fosse settiche, pozzi perdenti, bacini di accumulo di liquami ed impianti di depurazione;
14. dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche e la realizzazione di vasche di laminazione e di prima pioggia;
15. realizzazione a servizio della nuova abitazione di depositi di materiali pericolosi e di condotte che trasportino sostanze pericolose;
16. uso di diserbanti e fertilizzanti all'interno dei giardini, a meno di non utilizzare sostanze antiparassitarie che presentino una ridotta mobilità nei suoli.

Elementi di rilevanza geomorfologica

Nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Lecco (PTCP) per il territorio comunale di Viganò si individua un orlo di terrazzo morfologico sito nella zona SW in vicinanza del confine comunale. Nel parere di compatibilità della variante al piano la Provincia di Lecco ha prescritto che la medesima sia inserita individuando anche la relativa fascia di rispetto, pertanto si è proceduto all'inserimento di tali elementi nella carta dei Vincoli.

Orlo di terrazzo

L'orlo di terrazzo morfologico individuato nella cartografia del PTCP in scala 1:10.000 è stato riportato sull'aerofotogrammetrico comunale e ritracciato considerando il maggior dettaglio della cartografia utilizzata.

Fasce di rispetto dell'orlo di terrazzo

Poiché la norma del PTCP prevede che all'orlo di terrazzo siano applicate delle fasce di rispetto entro cui applicare le norme di piano, come prescritto dalla Provincia si è provveduto, previa confronto con gli uffici provinciali, ad individuarle sulla base di quanto specificato nell'art. 51 comma 3 lettera b delle NdA.

Per ogni orlo morfologico si individuano due fasce di rispetto:

- una sul piano terrazzato, a partire dall'orlo medesimo ed estesa verso monte;
- una sul ripiano sottostante, individuata a partire dal piede del terrazzamento ed estesa verso valle.

La larghezza delle fasce di rispetto è stata posta pari al dislivello del fronte del terrazzo, risultando variabile lungo l'intero sviluppo.

Per quanto concerne la normativa da applicare si rimanda alle Norme di Attuazione della sottoclasse 3D riportata al capitolo 6.1.3.

Aree di riserva naturale - Parco naturale del Curone e Montevecchia

Per le aree inserite nel contesto della riserva naturale, si rimanda alla normativa regionale vigente in materia (PTCP, PPR) ed in particolare alle DGR di riferimento della pianificazione del Parco di Montevecchia e Valle del Curone - DGR XI/6738/2022 e DGR X/2581/2014.

5.2. Carta di fattibilità geologica (Tavola G4 – G5)

Secondo quanto richiesto dalla L.r. 12/05 “Legge per il governo del territorio” tutto il territorio comunale è stato inserito in una “classe di fattibilità geologica” in funzione della presenza di limitazioni geologiche alla variazione di destinazione d’uso di porzioni del territorio stesso. Tali limitazioni possono essere di diversa natura e dipendono sia da norme e vincoli presenti sul territorio, sia da particolari caratteri geologici e morfologici dell’area che ne determinano la vulnerabilità intrinseca.

Lo scopo della “Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano” è quello di visualizzare in maniera sintetica ed organica le attitudini del territorio, con particolare attenzione ai fini edilizi, all’urbanizzazione ed agli interventi sul territorio nel rispetto delle caratteristiche geo - ambientali. Si tratta di una carta di pericolosità che fornisce indicazioni in ordine alle limitazioni d’uso del territorio, alle prescrizioni per gli interventi urbanistici ed agli studi ed alle indagini da effettuare a supporto degli interventi edilizi.

Essa è il risultato della valutazione di tutti gli elementi analizzati e sintetizzati nella Carta di Sintesi, Carta degli effetti sismici e della Carta dei vincoli: gli elementi considerati sono stati valutati dal punto di vista dinamico, valutando l’interazione dei fenomeni sia passati che in atto con l’attività antropica.

La carta è stata definita su base topografica informatizzata fornita dal Comune stesso (aerofotogrammetrico alla scala 1:2.000) ed è stata stampata ad una scala 1:2.000 (Tavola G4) ed una in scala 1:5.000 utilizzando la Carta Tecnica Regionale (Tavola G5).

Tutto il territorio comunale è stato suddiviso in quattro classi di fattibilità e in un certo numero di sottoclassi, a seconda degli elementi che concorrono a definire le limitazioni all’uso del territorio legate a vincoli sovracomunali. Alla fattibilità geologica sono state sovrapposte, con un retino, gli effetti previsti dall’analisi sismica.

La nuova carta e le relative norme di attuazione derivano dalle precedenti revisionate ed integrate inserendo sia le fasce di risetto degli orli morfologici derivanti dalle prescrizioni del PTCP di Lecco che, come elementi sovrapposti alla fattibilità geologica, le problematiche derivanti dall’analisi sismica.

5.2.1. Criteri per l’attribuzione delle classi di fattibilità geologica

Il territorio comunale di Viganò, è caratterizzato da condizioni di instabilità o pericolosità limitate alla dinamica del T. Lavandaia o dei pendii collinari, mentre per la maggior parte della sua estensione presenta condizioni generalmente stabili.

L’attribuzione delle classi di fattibilità è stata effettuata attribuendo ad ogni poligono della Carta di Sintesi una Classe di Fattibilità secondo il fattore di pericolosità/vulnerabilità presente, seguendo le indicazioni della tabella 1 dei criteri attuativi della L.R.12/05 per la componente geologica, idrogeologica e sismica.

Nei casi di compresenza di due o più ambiti di pericolosità/vulnerabilità, è stata in ogni caso attribuita la classe di fattibilità più alta.

Per quanto attiene la suddivisione delle classi di fattibilità geologica e sismica e la rispettiva normativa, si rimanda a quanto descritto nelle Norme di Piano di cui al capitolo n. 6.

6. NORME GEOLOGICHE DI PIANO

6.1. Normativa d'uso derivante dalla fattibilità geologica

Ai sensi della normativa attualmente vigente D.M. 17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni" per ogni nuovo intervento edificatorio è obbligatoria la redazione di apposita relazione geologica e geotecnica.

Tali relazioni dovranno essere basate o suffragate su apposite indagini di tipo geologico /geotecnico, commisurate all'entità del progetto e alla conoscenza dei luoghi, ai sensi della normativa nazionale.

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione potrà essere basata sull'esperienza e conoscenze disponibili dei terreni, ferma restando la piena responsabilità del progettista sulle ipotesi e scelte progettuali.

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti dalle classi di fattibilità 2, 3 e 4 di seguito riportati, devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione in sede di presentazione dei piani attuativi o in sede di richiesta del permesso di costruire al Comune agli enti preposti.

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono anche se possono comprendere, le indagini geologiche e geotecniche previste dal D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

6.1.1. CLASSE 1 – FATTIBILITA' SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI

Aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

Per gli ambiti urbanistici azionati in classe di fattibilità 1 deve essere applicato direttamente quanto prescritto alle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

6.1.2. CLASSE 2 – FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI

Aree nelle quali sono state rilevate modeste limitazioni all'utilizzo a scopo edificatorio e/o alla modifica di destinazione d'uso dei terreni, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

Per l'utilizzo di queste zone è quindi necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico geotecnico e/o idrogeologico, finalizzati ai singoli progetti, al fine di ricostruire un modello

geologico e geotecnico e idrogeologico sufficientemente dettagliato, da utilizzarsi per la scelta delle opere di fondazione e il loro dimensionamento.

La progettazione di:

- nuove infrastrutture;
- nuove edificazioni, compresi gli accessori che comportino scavi di qualsiasi profondità;
- ristrutturazioni comportanti ampliamenti e/o sopraelevazioni dell'esistente, qualora determinino un significativo aumento dei carichi sul terreno, o scavi di qualsiasi profondità;

dovrà essere supportata da una relazione geologico - tecnica, con indagini in sito e verifiche esaustive rispetto alle specifiche problematiche presenti nell'area.

Sono esclusi da tale obbligo:

- derivazioni locali di linee elettriche, linee di telecomunicazione e di distribuzione gas, condotte idriche e condotte fognarie;
- posa in opera di cartelli e recinzioni;
- interventi di sistemazione idraulico-forestale, di ordinaria e straordinaria manutenzione della viabilità agro - silvo - pastorale.

6.1.3. CLASSE 3 – FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

Aree nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni, a scopi edificatori e/o alla modifica delle destinazioni d'uso, per le condizioni di pericolosità e vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici e opere di difesa.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di studio e indagine per meglio definire le reali condizioni di pericolosità o vulnerabilità del sito, e la compatibilità dell'intervento in progetto in ogni sua fase di cantiere con le condizioni di stabilità e di sicurezza dei luoghi.

Sono esclusi da tale obbligo:

- derivazioni locali di linee elettriche, linee di telecomunicazione e di distribuzione gas,
- condotte idriche e condotte fognarie;
- posa in opera di cartelli e recinzioni;
- interventi di sistemazione idraulico-forestale, di ordinaria e straordinaria manutenzione della viabilità agro - silvo - pastorale, purché non comportanti scavi e movimenti terra di qualunque entità.

Il Professionista deve in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;
- se non dispone di dati sufficienti, definire puntualmente i supplementi d'indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito territoriale di riferimento e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione.

Le limitazioni di carattere geologico riscontrate per questa classe impongono che la relazione geologico - tecnica, da predisporre preliminarmente rispetto alla progettazione esecutiva degli interventi, valuti dettagliatamente i seguenti aspetti:

- tipologia degli interventi rispetto alla specifica classe di fattibilità, interazioni tra l'area di intervento e le aree ad essa confinanti con diversa classe di fattibilità;
- caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area e di un suo intorno significativo;
- caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dell'area e di un suo intorno significativo, supportata da specifiche ed esaustive indagini in sito e verifiche di stabilità;
- caratterizzazione idrologica ed idrogeologica dell'area e di un suo intorno significativo, supportata da specifiche ed esaustive verifiche;
- possibilità di interventi finalizzati alla mitigazione del rischio per l'area in esame, attraverso interventi di carattere strutturale anche esterni all'area stessa, con indicazioni specifiche sulla tipologia degli stessi;
- possibilità di interventi nell'ambito dell'area in esame, finalizzati alla protezione delle nuove strutture in progetto , con indicazioni specifiche sulla tipologia degli stessi.

Negli ultimi due casi il redattore della relazione tecnica dovrà anche garantire che gli interventi proposti, migliorativi per l'area di intervento, non comportino incrementi del rischio per le aree adiacenti.

La scelta delle tematiche da valutare ed approfondire sarà effettuata, a discrezione del professionista incaricato, sulla base dell'insieme delle problematiche individuate nella specifica area di intervento.

Per le aree ricadenti in classe di fattibilità 3 si dovranno comunque prevedere interventi edilizi a impatto geologico contenuto.

In particolare, per le aree in cui l'elevata acclività è un fattore rilevante, si dovranno prevedere edificazioni per quanto possibile in aderenza al profilo del pendio, allo scopo di non alterarne le condizioni statiche, soprattutto attraverso il contenimento degli interventi di scavo e di scalzamento al piede.

Per i settori di pendio ricadenti in classe terza anche per l'elevata acclività (nei quali spesso si alternano tratti particolarmente acclivi con settori ad inclinazione contenuta), in sede di proposta di intervento la relazione geologico - geotecnica dovrà stabilire la migliore ubicazione degli edifici, escludendo le aree a maggiore acclività nelle quali i lavori possono determinare situazioni di instabilità.

In caso di sbancamenti con fronti superiori a 3 m la relazione geologica di supporto al progetto dovrà contenere opportune verifiche di stabilità, al fine di progettare tutte le opere e strutture necessarie per eseguire i lavori in sicurezza, in ogni fase di cantiere

A supporto della relazione geologica si dovranno eseguire supplementi d'indagine di carattere geologico - tecnico e idrogeologico, campagne geognostiche, prove in situ e/o di laboratorio, al fine di verificare le caratteristiche dei luoghi, e la compatibilità degli stessi con quanto in progetto, in particolare per verificare la stabilità dei pendii interessati dagli interventi e alla definizione dei sistemi di controllo e drenaggio delle acque superficiali.

Sottoclasse 3A – aree acclivi, zone collinari non inserite in altri ambiti, aree da sottoporre ad approfondimenti geologico – tecnici

Comprende aree a pericolosità potenziale medio – bassa generica (aree acclivi, zone collinari non inserite in altri ambiti, aree da sottoporre ad approfondimenti geologico – tecnici).

In questa sottoclasse, oltre quanto previsto per la classe 3, in aree acclivi, a supporto della relazione geologica, si dovranno eseguire rilievi geologici e geologico - tecnici di dettaglio e indagini specifiche, al fine di verificare le caratteristiche dei luoghi e la compatibilità degli stessi con quanto in progetto.

Per aree adiacenti a zone potenzialmente soggette a caduta massi, si dovranno inoltre eseguire rilievi geologici e strutturali di superficie atti a inquadrare la problematica in oggetto, con una successiva realizzazione di studi traiettografici atti a appurare la reale pericolosità ed eventualmente dimensionare le opere di difesa passiva e attiva da installare, al fine di rendere compatibile il progetto con lo stato di rischio dei luoghi.

Per aree in adiacenza a fasce di rispetto idrauliche, o aree in prossimità delle pertinenze fluviali, saranno da approfondire gli aspetti di pericolosità idraulica, contemplando l'eventuale realizzazione di opere di difesa correttamente dimensionate sulla base della morfologia locale e delle verifiche effettuate.

Sottoclasse 3B – aree caratterizzate da depositi dalle scadenti caratteristiche geomeccaniche

Comprende aree caratterizzate da depositi dalle scadenti caratteristiche geomeccaniche. In questa sottoclasse, oltre a quanto previsto per la classe 3, saranno necessarie opportune indagini geologiche e geotecniche, al fine di ricostruire un modello geologico, geotecnico e idrogeologico sufficientemente dettagliato, da utilizzarsi per la scelta delle opere di fondazione e il loro dimensionamento.

Saranno inoltre da approfondire la condizione di permeabilità dei terreni e la capacità drenante degli stessi, considerando in relazione e progettazione l'eventuale problematica legata allo smaltimento delle acque.

Sottoclasse 3C – fasce di transizione tra ambiti a pericolosità elevata e bassa

Comprende fasce di transizione fra ambiti a pericolosità elevata e bassa. Per le zone di transizione fra aree a differente grado di pericolosità, sarà necessario definire nel dettaglio il limite dell'ambito di pericolosità maggiore e procedere con gli approfondimenti in merito, secondo la perimetrazione della pericolosità ottenuta a livello locale.

Sottoclasse 3D –fasce di rispetto dell'orlo di terrazzo

Si identifica la fascia di rispetto degli orli morfologici secondo quanto previsto nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Lecco (PTCP). Per il territorio comunale di Viganò si individua un orlo di terrazzo morfologico sito nella zona SW in vicinanza del confine comunale. Per la descrizione degli elementi e le rispettive perimetrazioni si rimanda a quanto indicato al capitolo 5.1.

All'interno delle fasce di rispetto si applica la norma nell'art. 51 comma 3 lettera b delle NdA del PTCP che si riporta integralmente – “non consentire, rispetto agli orli di terrazzo, interventi infrastrutturali e di nuova edificazione per una fascia sul ripiano terrazzato e per una fascia sul ripiano sottostante a partire rispettivamente dall'orlo della scarpata e dal piede delle stessa; l'estensione delle suddette fasce è pari all'altezza della scarpata e comunque non inferiore all'altezza del manufatto in progetto”.

Si specifica che l'individuazione della fascia di rispetto è stata definita su base di quanto rilevabile dalla cartografia, pertanto essa dovrà essere ulteriormente verificata dal Progettista sulla base di puntuali e dettagliate misure della geometria dell'orlo morfologico nella zona dell'intervento proposto.

6.1.4. CLASSE 4 – FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento e alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.

Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro risanamento conservativo, come definiti dall'articolo 27 comma 1 lettere a,b,c della L.R. 12/05 e s.m.i. senza aumento di superficie e volume e senza aumento del carico insediativi.

Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Per i nuclei abitati esistenti, quando non è strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e d'interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili, dovranno in ogni caso essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea.

A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

La perimetrazione della pericolosità e rischio, in queste zone, è imprescindibile dalla conclusione di studi di dettaglio condotti secondo le procedure di cui alla normativa regionale e nazionale e sottoposti a parere vincolante degli Enti preposti, nonché dall'eventuale realizzazione delle opere di mitigazione del rischio da prevedere.

SOTTOCLASSE 4A - aree con ristagni di acqua

Per tali aree la modifica della destinazione d'uso e/o la realizzazione di manufatti e l'eventuale declassazione è imprescindibile da valutazioni di natura idraulica che definiscano i rischi presenti e le relative opere di difesa / mitigazione del rischio necessarie.

L'eventuale cambio di fattibilità derivante dalle conclusioni di tali studi, sarà da attuarsi con apposita variante urbanistica in conformità alla normativa vigente.

SOTTOCLASSE 4B – aree di pertinenza idraulica

Si individuano le aree del corso d'acqua e delle relative fasce di rispetto.

Le aree ricadenti nelle fasce di rispetto del Reticolo Idraulico Minore, sono soggette alla normativa di cui al regolamento di polizia idraulica comunale.

Per le relative norme da applicare all'interno delle fasce di rispetto del reticolo idrico si rimanda allo "Studio del Reticolo Minore" al quale si deve far riferimento nella definizione delle attività vietate ed ammesse.

SOTTOCLASSE 4C – aree ad elevata acclività

Si individuano le aree caratterizzate da forte acclività in cui il gradiente del pendio favorisce l'instabilità dei terreni o rocce presenti.

In queste aree la modifica della destinazione d'uso e/o la realizzazione di manufatti e l'eventuale declassazione è imprescindibile da indagini e studi atti a definire i rischi presenti e le relative opere di difesa / mitigazione del rischio necessarie.

SOTTOCLASSE 4D – Tutela assoluta pozzo acqua

La zona di tutela assoluta è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni; essa, in caso d'acque sotterranee e, ove possibile, per le acque superficiali, deve avere un'estensione di almeno dieci metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio.

Si richiama inoltre il vincolo della fascia di rispetto circostante (perimetro di 200 m) per la cui individuazione e le relative norme si rimanda alla tavola dei Vincoli (G3) e cap. n. 5.1.

6.2. Normativa d'uso derivante dalla componente sismica

Dal punto di vista della normativa Nazionale la progettazione antisismica per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici è regolata dal d.m. 17 gennaio 2018.

Dal punto di vista della normativa Regionale vige quanto prescritto ai sensi della L.R 12/05 e s.m.i., in relazione ai livelli d'approfondimento della pericolosità sismica locale si applica quanto emerso dalle indagini sismiche riportate al capitolo n. 3.1 e sintetizzato nella Tabella 7:

Tabella 7: sintesi degli scenari sismici e delle relative prescrizioni

SCENARIO		ATTIVITÀ IN FASE DI PROGETTAZIONE
Sigla	Descrizione	
Z2	Cedimenti - liquefazioni	Analisi di terzo livello
Z3	Amplificazioni topografiche	Utilizzo classe topografica di norma
Z4 e strutture basse e rigide (T=0,1 – 0,5 s)	Amplificazioni litologiche	Approfondimenti mediante analisi di terzo livello In alternativa utilizzo della classe di suolo C
Z4 e strutture alte e flessibili (T=0,5 – 1,5 s)	Amplificazioni litologiche	Utilizzo della classe di suolo derivante dalle indagini secondo norma

Dall'analisi di secondo livello svolta (vedi cap. n. 3.3) è emerso che nella progettazione di strutture basse e rigide, aventi un periodo di vibrazione compreso tra 0,1 – 0,5 s, la norma nazionale è in grado di rappresentare sufficientemente l'amplificazione sismica locale prodotta dalla stratigrafia alluvionale per la classe di suolo C.

Si specifica che la sovrapposizione delle prescrizioni sismiche derivanti dall'analisi di secondo livello svolta non comporta un automatico cambio di classe di fattibilità ma fornisce indicazioni su dove poter utilizzare, in fase di progettazione, lo spettro di risposta elastico previsto dal DM 17 gennaio 2018, oppure dove sia necessario realizzare preventivamente gli studi di 3^a livello, fermo restando la possibilità di utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la categoria di suolo superiore.

Pertanto in conclusione e facendo riferimento alla suddivisione riportata nella carta dello scenario di secondo livello (Tavola G1b) e come sovrassegno nella Carta di Fattibilità geologica (Tavola G4), ferma restando la possibilità del Progettista di eseguire specifici approfondimenti e valutazioni, si individuano i casi riportati nella Tabella 7.

Novembre 2024

ALLEGATO 1

Descrizione metodologia esecuzione indagini geofisiche

INDAGINI GEOFISICHE CON LA TECNICA MASW

Descrizione della prova

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda.

Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Nel tempo sono state utilizzate diverse tecniche per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. Una MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1- D), che descrive la variazione di V_s con la profondità. In questi metodi frequenza – numero d'onda (denominati anche metodi f-k), l'analisi dei segnali viene condotta trasformando le tracce sismiche acquisite nel dominio spazio – tempo (x, t) nel dominio frequenza – numero d'onda ($\omega-k$), mediante l'applicazione della trasformata bidimensionale di Fourier.

La prova SASW eseguite in modalità multi-stazione viene indicata con l'acronimo MASW (Multistation Analysis of Surface Waves) e serve per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , dunque:

- il tipo di suolo sismico (A, B, C, D, E, S1, S2);
- le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile;
- il modulo di rigidità del terreno;
- i cedimenti e gli spostamenti delle opere interagenti con il terreno: edifici, ponti, rilevati arginali, opere di sostegno, etc.

I principali vantaggi della tecnica MASW sono i seguenti:

- forniscono il profilo di velocità delle onde di taglio V_s oltre 30 m di profondità;
- consentono di individuare il tipo di suolo sismico;

- a differenza della sismica a rifrazione, si utilizzano in qualunque situazione stratigrafica pseudo-orizzontale, anche in presenza di falda;
- non sono invasive, non occorre eseguire perforazioni;
- non implicano nessun danneggiamento allo stato dei luoghi e delle cose;
- rapidità e facilità di esecuzione e di elaborazione dati;
- ingombro limitato delle attrezzature per l'esecuzione delle prove;
- mobilità, trasporto agevole della strumentazione necessaria per eseguire le prove.

Modalità esecutive

Le operazioni di campagna sono identiche a quelle che si effettuano in rilievi di sismica a rifrazione tipo standard.

Si energizza il terreno mantenendo un guadagno costante su tutti i canali e si registra direttamente il segnale ad ogni geofono.

Occorre tener presente che la lunghezza dello stendimento definisce la profondità di indagine raggiungibile, mentre l'interdistanza tra i geofoni definisce il dettaglio della restituzione interpretativa. Questi due parametri devono quindi essere calibrati in modo da consentire di raggiungere il massimo dettaglio possibile per la profondità di indagine richiesta e per i livelli di strati di terreno previsti.

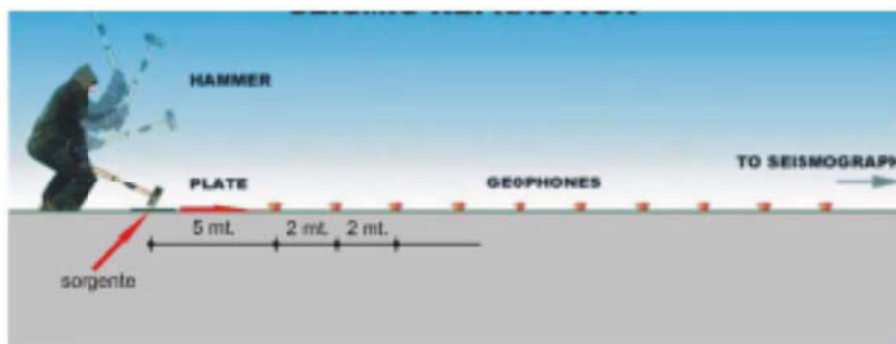
L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è ottenuta impiegando un'apposita mazza dal peso di 9 Kg, la quale viene fatta collidere col suolo generando così onde elastiche. Si prevedono più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si consideri che una massa del peso di 9 Kg circa (in quantità pari a n. 1 battuta) genera circa 100 J di energia.

Infine, il rilievo altimetrico dei punti - geofono e dei punti di energizzazione è ricostruito in loco in maniera puntuale e restituito cartograficamente in scala adeguata. La topografia irregolare è una condizione sufficientemente comune nella pratica di rifrazione ed influisce avversamente sulla definizione del rifratore (funzioni tempo-profondità); ne consegue l'importanza di definire con maggior dettaglio possibile il dislivello lungo il profilo sismico impostato.

Caratteristiche attrezzatura utilizzata

Le prove sono state eseguite per mezzo della strumentazione di seguito elencata:

- Acquisitore digitale multi – canale nel caso specifico un sismografo PASI 16SG24 a 24 canali;
- Ricevitori (geofoni da 4.5 Hz) capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale;
- Sorgente sismica impulsiva costituita da mazza di 9 kg.



Software di interpretazione dei dati sismici

L'elaborazione dei dati è stata garantita dall'utilizzo del software WinMASW 4.1 della ElioSoft di Palmanova (UD); le principali caratteristiche di questo programma si possono così sintetizzare:

- Analisi di sezioni bidimensionali del terreno su dati raccolti mediante acquisizioni multiple, ottenute tramite la traslazione dell'array dei ricevitori;
- Interfaccia grafica studiata per rendere semplice l'uso degli strumenti disponibili, come:
 - L'impostazione dei parametri che definiscono il modello sintetico per l'inversione del modello del terreno in modalità interattiva;
 - *Picking* dello spettro per l'estrazione delle curve di dispersione;
 - *Editing* della curva di dispersione sperimentale;
- Algoritmi di calcolo completi, veloci ed efficienti;
- Calcolo spettro FK, FV, FX;
- Molteplici finestre di *windowing* (*boxcar, hamming, hanning, blackman...*);
- Parametrizzazione del modello sintetico del terreno fino ad almeno 30 metri;
- Controllo dei principali parametri dell'inversione (numero massimo delle iterazioni, tolleranza sui parametri, quantificazione del disturbo);
- Esportazione delle immagini nei più comuni formati grafici;
- Editing della curva di dispersione sperimentale.

L'elaborazione dei dati di campagna si compone delle seguenti fasi:

- *Pre-processing*, per pulizia da fenomeni di disturbo sul segnale utile, dovuto a sorgenti ambientali non controllabili, e assemblaggio di *array* virtuali, per ovviare alla limitazione del numero di geofoni disponibili in campagna;
- Analisi spettrale del sismogramma ottenuto, condotta mediante l'utilizzo di vari parametri matematici, che consentono di adattarsi alle esigenze dell'utente;
- Estrazione (manuale od automatica) della curva di dispersione sperimentale, e sua visualizzazione nel dominio della frequenza o della lunghezza d'onda;
- Generazione di una curva di dispersione, basata su modello sintetico del terreno, mediante la caratterizzazione, per ciascuno strato, dello spessore dello strato stesso, della velocità delle onde S, della velocità delle onde P, della densità del terreno;
- Inversione del modello sintetico in modalità interattiva o automatica (inversione basata sulle velocità delle onde S o sugli spessori degli strati);
- A seguito della interpretazione eseguita viene fornito anche il valore della V_s del sito, consentendone la classificazione secondo le normative tecniche, attualmente in corso, in materia di progettazione antisismica.

INDAGINI GEOFISICHE CON LA TECNICA HVSR

Descrizione della prova

La tecnica HVSR (*Horizontal-Vertical Spectral Ratio*), o tecnica di Nakamura, è una tecnica di indagine geofisica passiva dove, invece di avere una sorgente attiva di onde sismiche, viene registrato, tramite un geofono triassiale, il rumore di fondo, con la presenza di un operatore che controlla solamente l'apparato di acquisizione. Come sorgente di energizzazione del terreno, infatti, il metodo HVSR utilizza i microtremori, ovvero delle piccole oscillazioni onnipresenti nel sottosuolo, generate da sorgenti naturali (onde che impattano sulla costa, condizioni meteorologiche, tremore vulcanico, ecc.) o da sorgenti antropiche (traffico veicolare, industrie, ecc.). Questo metodo di indagine effettua un'analisi delle tre componenti del moto del suolo (una componente verticale e due componenti orizzontali), in termini di rapporti spettrali. Nello specifico, il metodo calcola la funzione di trasferimento del mezzo, ovvero le modalità con cui il moto sismico viene alterato nel suo passaggio da una roccia rigida profonda ad una copertura sedimentaria superficiale. Tale funzione viene calcolata attraverso la formula del *Quasi Transfer Spectrum* (QTS): si tratta di un'equazione in grado di approssimare lo spettro della funzione di trasferimento generata dalla copertura sedimentaria. La tecnica HVSR consente di effettuare delle ricostruzioni del sottosuolo e di definire la risposta sismica di una zona analizzata, indagando la frequenza di risonanza f_0 dei mezzi attraversati dalle onde sismiche.

La tecnica HVSR consente di ottenere indicazioni "quali-quantitative" sulle caratteristiche geomeccaniche del sito che possono determinare effetti di amplificazione sismica locale, con particolare riferimento all'individuazione della frequenza di risonanza f_0 (o periodo $T_0 = 1/f_0$) e indicazioni sul contrasto di impedenza sismica. La frequenza di risonanza è in funzione della velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde S e dello spessore dello strato considerato. Tramite l'individuazione della f_0 si riesce a risalire allo spessore dello strato grazie a questa equazione:

$$f_0 = Vs/4H$$

dove H è lo spessore dello strato.

La frequenza di risonanza non è correlata solamente al contrasto di impedenza tra le coperture ed il *bedrock*, ma in generale è legata ai principali contrasti di impedenza presenti nella sismo-stratigrafia caratterizzante il sito. Nota la velocità e registrata la frequenza ottenuta dai rapporti spettrali è quindi possibile ottenere una ricostruzione sismo-stratigrafica. Si definisce "*bedrock*" o "basamento sismico" quella unità geologica-geofisica che non evidenzia effetti di amplificazione sismica locale e che è caratterizzata da parametri geotecnici e geofisici tali da indurre una risposta sismica unitaria (lo spettro è pari ad 1). Non corrisponde necessariamente al *bedrock* geologico.

L'analisi HVSR viene in genere effettuata con la finalità di integrare la caratterizzazione geofisica e geotecnica dei terreni, tramite l'elaborazione di modelli $V_s - z$, dove z è la profondità. Solitamente questi modelli sono ottenuti tramite integrazione di dati derivati da inversione congiunta di metodi di indagine diversi, quali la sismica a rifrazione, la tecnica MASW e la tecnica HVSR stessa. Tuttavia, in certi casi la sola indagine HVSR può permettere di effettuare la ricostruzione del profilo sismo-stratigrafico.

La tecnica HVSR permette inoltre di integrare ed estendere arealmente la stima quantitativa delle amplificazioni effettuata mediante modellazione numerica o mediante rapporti spettrali di eventi sismici utilizzando micro-reti sismologiche temporanee (SSR), in supporto alla microzonazione sismica.

La tecnica HVSR è vantaggiosa in quanto richiede analisi semplici e veloci. La procedura di acquisizione è caratterizzata dall'utilizzo di una sola stazione, non di reti di più ricevitori o stendimenti sismici. È quindi possibile caratterizzare in poco tempo molti siti ed analizzare un'area vasta. Effettuando più misure lungo un transetto scelto è infatti possibile osservare la variazione dei picchi di frequenza è quindi seguire la variazione di spessore degli strati.

I risultati delle misure HVSR possono essere utilizzati per costruire una mappa o più mappe degli f_0 (T_0) dell'area indagata.

Il metodo HVSR utilizza 3 sensori; perché la misura sia affidabile le curve di risposta dei tre sensori devono essere teoricamente uguali o con differenze minime (massimo 2-3%).

È buona pratica effettuare una calibrazione dei sensori presso la casa costruttrice o in alternativa effettuando un cluster (misura con sensori vicini a pochi centimetri) con altra strumentazione dello stesso tipo e/o di tipo diverso.

Ipotesi Nakamura – Quasi Transfer Spectrum

La procedura Nakamura è la più utilizzata per elaborazioni di indagini HVSR. Dal punto di vista operativo, vengono eseguite misure di rumore di fondo, acquisendo diverse registrazioni in diversi punti del sito di interesse nell'arco di una giornata. In genere è possibile acquisire molti dati in un ridotto intervallo temporale, arrivando a fino a 8 – 10 misure al giorno. Spesso è meglio fare le acquisizioni durante la notte, quando il disturbo antropico è minimo.

La strumentazione è identica a quella che viene utilizzata per l'analisi dei rapporti spettrali con sito di riferimento, ma in questo caso non è necessario alcun sito di riferimento. Inoltre, dovendo utilizzare una singola stazione sismologica, è sufficiente un singolo operatore. In questo modo, con una singola stazione si caratterizza un'area più o meno estesa, andando a misurare il rumore ambientale: l'obiettivo è effettuare il rapporto tra le componenti orizzontali del moto e la componente verticale (H/V).

Considerando la componente del moto verticale uguale a 1 (analogamente al *bedrock*), sulla base di considerazioni sperimentali, la funzione di trasferimento orizzontale degli strati superficiali $SR(f)$ è data dal rapporto degli spettri delle componenti orizzontali (H) al sito (S) e al *bedrock* affiorante (R):

$$SR(f) = HS(f) / HR(f)$$

(Standard Spectral Ratio)

- Ipotesi 1): $HR(f) = HB(f)$; $VR(f) = VB(f)$; se H piccolo: non si hanno variazioni significative in ampiezza tra *bedrock* alla base delle coperture (B) e in R;
- Ipotesi 2): $HR(f) = VR(f)$; verificata sperimentalmente.

Il rapporto tra le componenti verticali, al sito in superficie e al *bedrock* alla base del deposito, fornisce lo spettro cumulato delle sorgenti di microtremori nel deposito:

$$AS(f) = VS(f) / VB(f)$$

Supponendo uguali in tutte le direzioni e omogeneamente distribuite le sorgenti di microtremori, il rapporto:

$$SM(f) = SR(f) / AS(f) = [HS(f) / HR(f)] / [VS(f) / VB(f)] = [HS(f) / VS(f)] * [VB(f) / HR(f)]$$

fornisce la funzione di trasferimento degli strati superficiali depurata dell'effetto sorgente "Quasi Transfer Spectrum = HVSR" (Nakamura, 1989).

Assumendo valide le ipotesi 1 e 2, $VB(f)/HR(f) = 1$ la quasi-funzione di trasferimento, è quindi data dal rapporto tra le componenti orizzontali e quella verticale registrate al sito in superficie:

$$HVSR(f) = HS(f) / VS(f)$$

Normalmente dopo un picco (a cui corrisponde la frequenza massima) si osservano una discesa e un nodo: è il risultato dell'analisi di un rapporto spettrale. Nell'analisi si va a studiare l'ellitticità (ellitticità orizzontale = picco; ellitticità verticale = nodo) delle onde di Rayleigh.

Il rapporto HVSR può essere considerato difatti come una misura dell'ellitticità delle onde di Rayleigh. L'ellitticità reale è ottenuta dalla misura HVSR mediante un metodo di filtraggio delle onde sismiche basato sull'analisi della polarizzazione o del moto della particella che seleziona la porzione

di segnale caratterizzata da un moto planare ellittico. In corrispondenza della frequenza di picco prevale la componente orizzontale mentre in corrispondenza della frequenza di nodo prevale la componente verticale

Per le misure di microtremori HVSr è consigliata l'esecuzione secondo lo standard SESAME (progetto europeo):

- durata registrazione ≥ 30 min. Questa consente normalmente di avere un numero di finestre sufficiente per fare l'analisi, ma possono essere sufficienti anche 10 minuti se in fase di elaborazione si riesce ad individuare un numero adeguato di finestre; la durata della registrazione va comunque estesa in modo da ottenere un numero di finestre di rumore dalla lunghezza compresa tra 25 e 30 sec, prive di transienti, ovvero picchi anomali che possano inficiare la misura, non inferiore al numero di 20. Questo serve per avere un valore mediano significativo. In alternativa possono essere selezionate finestre manuali che garantiscano un'analisi su almeno 10 min di tremore privi di transienti significativi;
- frequenza campionamento ≥ 100 Hz (relazione di Nyquist);
- sensore velocimetrico a tre componenti con bassa frequenza propria, in genere ≤ 1 Hz, ma sono accettabili anche sensori a frequenze maggiori (2 Hz);
- orientazione del sensore orizzontale verso Nord.

Il numero totale di misure da effettuare e la loro ubicazione dipende dall'estensione dell'area e dalle caratteristiche geolitologiche e morfologiche individuate per l'area stessa con il supporto di studi di microzonazione MOPS I e II livello, carte geologiche e carte geolitologiche. Le misure possono essere più fitte o più rade, ma devono andare a caratterizzare tutta l'area, geologicamente e geomorfologicamente. Con questo metodo è possibile ottenere anche lo spessore degli strati, fino ad arrivare a quello a più alta competenza. Gli strati ad alta competenza sono identificati dai picchi.

Elaborazione e software di interpretazione dei dati sismici

Per l'elaborazione delle registrazioni ottenute e l'inversione delle curve di ellitticità al fine di ottenere un modello rappresentativo del sottosuolo in termini di Vs e z sono stati utilizzati il software *Geopsy* e il suo applicativo *dinver*.

In fase di acquisizione sono state salvate in formato .saf le tracce registrate tramite il software "PASI gemini". Le tracce sono state quindi caricate sul programma *Geopsy*. In fase di *pre-processing* sono state selezionate automaticamente delle finestre temporali di lunghezza compresa tra 25 e 30 s con *overlap* del 5% lungo tutta la traccia, le quali sono state utilizzate per l'analisi spettrale e per il calcolo del rapporto H/V. È stato applicato il comando *Anti-triggering* sia per il segnale grezzo sia per il segnale filtrato; sono stati inoltre assegnati i seguenti valori:

- STA (*short term average*): 1,00 s;
- LTA (*long term average*): 30,00 s;
- Min STA/LTA: 0,20;
- Max STA/LTA: 2,50.

In fase di *Processing* è stato impostato un lisciamento con finestra Konno-Ohmachi, con costante pari a 40, in modo da ottenere un segnale più smussato. Le componenti orizzontali sono state combinate mediante media quadratica tra N(f) e E(f) secondo la seguente relazione:

$$H(f) = \sqrt{\frac{N^2(f) + E^2(f)}{2}}$$

In fase di elaborazione dell'output H/V è stato selezionato un intervallo di frequenze compreso tra 0,5 Hz e 45 Hz con 100 valori spazati in scala logaritmica.

È possibile effettuare l'analisi della direzionalità degli HVSR per valutare la polarizzazione della sorgente di rumore e la lettura e classificazione delle frequenze f_0 di picco HVSR in intervalli definiti di frequenza (o periodo), in modo da ottenere un'interpretazione grazie alla relazione $f_0 = V_s/4H$. L'inversione dei dati di ellitticità da HVSR per la definizione di modelli Vs-z monodimensionali è stata effettuata tramite l'applicativo *dinver*.

Caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata

Le prove sono state eseguite per mezzo della strumentazione di seguito elencata:

- geofono triassiale modello – tomografo Gemini2 della PASI di Torino.

Lo strumento consiste in un unico contenitore *waterproof* al cui interno è integrata una terna di geofoni e un acquirente hardware da 24 bit. Le masse oscillanti presentano una frequenza di risonanza di 2Hz sono accuratamente accoppiate meccanicamente ed elettricamente.

Collegando lo strumento ad un computer tramite l'interfaccia USB, questo strumento consente la memorizzazione dei dati direttamente tramite un software dedicato. I tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani; assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto SESAME:

- asse Z = geofono verticale (direzione Up-Down);
- asse X = geofono orizzontale (direzione East-West);
- asse Y = geofono orizzontale (direzione North-South).

Prima di effettuare l'acquisizione lo strumento deve essere opportunamente orientato in corrispondenza del N magnetico. Ciò è possibile tramite un'etichetta posizionata direttamente sul contenitore; inoltre, la terna deve essere livellata prima dell'acquisizione, operazione facilitata con l'ausilio della livella a bolla montata sul corpo dello strumento. Lo strumento può essere accoppiato al terreno grazie all'utilizzo di appositi puntali. Nell'immagine sottostante sono riportate le specifiche tecniche dello strumento.

Specifiche sensore Gemini-2:

Freq.Naturale di risonanza: 2 Hz +/-10%

Sensibilità: $2 \text{ V/cm}\cdot\text{S}^{-1}$ +/- 5%

Resistenza interna: $5.8\text{k}\Omega$ +/-5%

Damping: 0.7 +/-10%

Distorsione armonica: $\leq 0.2\%$

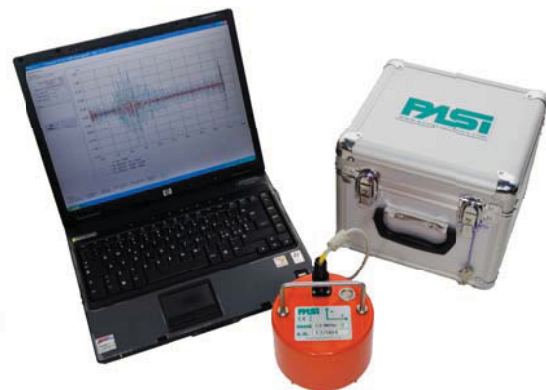
Resistenza d'isolamento: $\geq 10 \text{ M}\Omega$

Temp.funzionamento: da -25°C a $+55^\circ\text{C}$

Bloccaggio sensori: automatico per il trasporto

Dimensioni: diam.128mm, h.175mm

Peso: 2.15 kg



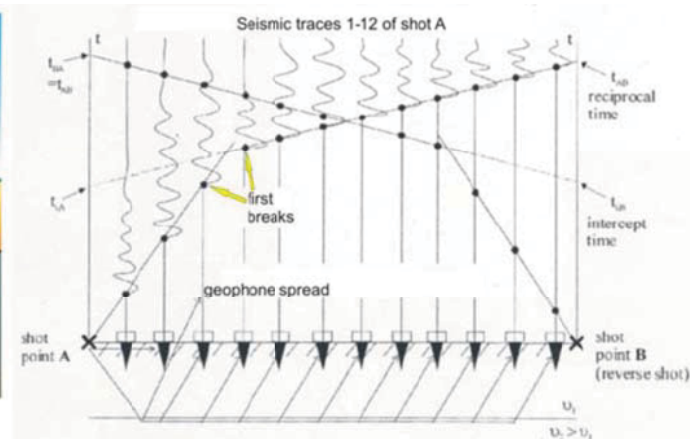
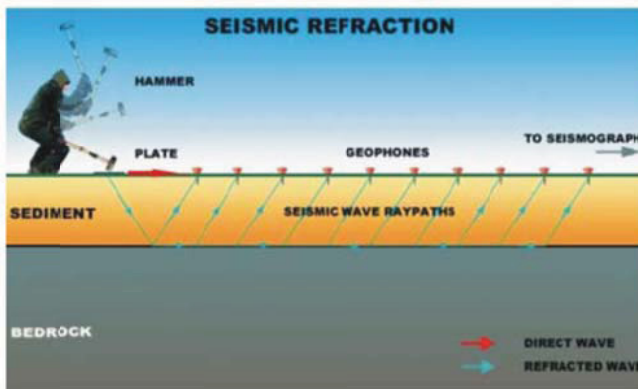
CERTIFICATO DELL'INDAGINE GEOFISICA CON LA TECNICA DELLA TOMOGRAFIA A RIFRAZIONE

Denominazione prove	Indagine geofisica con tecnica tomografia sismica
Procedura interpretazione	Elaborazione mediante individuazione dei primi arrivi delle onde generate da energizzazioni con massa battente r interpretazione mediante la tecnica dei raggi sismici con ricostruzione della velocità sismica

Descrizione della prova

I metodi convenzionali di sismica a rifrazione mirano a determinare la distribuzione nello spazio delle velocità delle onde sismiche nel sottosuolo (onde "p" – onde "s"). Queste velocità possono essere correlate a parametri geologici e petrofisici quali tipo di roccia, porosità, erosione superficiale, saturazione d'acqua ed elasticità.

In linea generale una campagna sismica a rifrazione prevede l'energizzazione del terreno mediante l'onda d'urto prodotta dall'impatto sul terreno di una mazza di battuta o carica esplosiva; il compito del sismografo è quello di misurare il tempo impiegato dalla "perturbazione sismica" indotta nel terreno a percorrere la distanza tra sorgente e geofoni, opportunamente spaziatati lungo un profilo.



La velocità di propagazione dell'onda sismica dipende dalle caratteristiche elastiche del sottosuolo e dalla sua conformazione; la relazione tra velocità e distanza sorgente-geofono (dromocrona) permette, attraverso opportuni calcoli matematici, di risalire agli spessori degli strati che caratterizzano il sottosuolo investigato.

L'analisi permette di individuare i principali rifrattori caratterizzati da significativi contrasti di impedenze di velocità.

Modalità esecutive

Le operazioni di campagna comporta l'energizzazione lungo l'allineamento dello stendimento del terreno in più punti speculari tra loro. La prima fase prevede alcuni shots di prova con lo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento.

Una volta effettuata la taratura si registrano, in modo sequenziale, tre o più basi sismiche opportunamente ubicate secondo quanto stabilito; ciascuna base prevede una stesa del cavo sismico per la lunghezza stabilita e le si registrano su 12 geofoni. La spaziatura dei punti di ricezione delle onde sismiche (geofoni) dipende dalla lunghezza dello stendimento; inoltre ciascuna base di norma prevede 5 -7 punti di energizzazione (shots) così distribuiti: due alle estremità e tre posizionati all'interno di ciascun profilo sismico.

Occorre tener presente che la lunghezza dello stendimento definisce la profondità di indagine raggiungibile, mentre l'interdistanza tra i geofoni definisce il dettaglio della restituzione interpretativa.

Questi due parametri devono quindi essere calibrati in modo da consentire di raggiungere il massimo dettaglio possibile per la profondità di indagine richiesta.

L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è ottenuta impiegando una apposita mazza del peso di 9 Kg, che viene fatta collidere col suolo generando così onde elastiche. Si prevedono più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si consideri che una massa del peso di 9 Kg, circa (in quantità pari a n. 1 battuta) corrisponde a circa 100 J di energia.

Infine, il rilievo altimetrico dei punti - geofono e dei punti di energizzazione è ricostruito in loco in maniera puntuale e restituito cartograficamente in scala adeguata. La topografia irregolare è una condizione sufficientemente comune nella pratica di rifrazione ed influisce avversamente sulla definizione del rifratore (funzioni tempo-profondità); ne consegue l'importanza di definire con maggior dettaglio possibile il dislivello lungo il profilo sismico impostato.

Descrizione attrezzatura utilizzata

La metodologia usata per l'acquisizione dei dati a rifrazione consiste in stendimenti sismici con l'impiego di 12 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz a componente verticale, collegati, tramite un cavo multipolare, al sismografo; tali geofoni sono apparecchi che segnalano i movimenti del terreno, trasformando l'energia sismica in energia elettrica.

Si utilizza inoltre un geofono (geofono del time break o hammer switch) posizionato in fregio all'apparato energizzatore, che costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione. Il sismografo utilizzato per l'acquisizione dei dati in campagna è il modello 16SG24 prodotto dalla ditta Italiana PASI, Tale strumentazione è dotata di sommatoria del segnale con possibilità di filtratura diversa in funzione dei disturbi da eliminare.

Software di interpretazione dei dati sismici

Come software di interpretazione è stato utilizzato Zond2D ver. 4.1 della Zond geophysical di San Pietroburgo.

La prima fase consiste nel processo di inserimento del profilo topografico, la geometria dello stendimento e delle energizzazioni e l'individuazione dei primi arrivi. La seconda fase consiste nel calcolo delle dromocrone, utilizzando un procedimento di ricerca di minimo sviluppato in forma analitica che garantisce il riconoscimento delle dromocrone che in assoluto presentano il miglior coefficiente di correlazione con i tempi di primo arrivo precedentemente determinati.

La prima procedura di elaborazione tomografica consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono.

Questa operazione viene eseguita utilizzando una prima modellazione in velocità del sottosuolo; il programma sulla base di una prima modellazione in velocità del sottosuolo traccia i vari raggi sismici che coprono tutta l'area investigata al di sotto del piano topografico sul quale è stato steso l'allineamento sismico di pertinenza.

Il passo successivo prevede l'applicazione di procedure che forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie. Mediante un processo iterativo dalla prima modellazione del sottosuolo si fanno convergere i dati modellati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali; il processo termina quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input.

Le successive elaborazioni risultano sempre più affinate basandosi sull'osservazione del *fit* tra le dromocrone sintetiche e quelle calcolate e terminano, a discrezione dell'interprete, quando sono il più possibile coincidenti e con scarto minimo $\leq 0.5\%$. Per addivenire a tale risultato sono utilizzati due metodi in modo da discriminare ulteriormente le risultanze: *Smooth Inversion* e *Delta t-V*. Il secondo metodo è sconsigliato in presenza di topografie esasperate o in presenza di strutture inclinate.

Risultati dell'elaborazione

La documentazione finale dell'indagine è costituita dalla sezione verticale interpretativa con individuazione di campiture di colore corrispondenti a specifici valori di velocità delle onde di compressione espresse in km/s.

Sulle sezioni sopra del profilo topografico è riportata la numerazione dei geofoni per migliori riferimenti planimetriche e la posizione delle energizzazioni.

Vantaggi dell'interpretazione tomografica

L'analisi tomografica, dove il sottosuolo investigato dalla linea sismica viene diviso in minime celle analitiche, permette un'elaborazione più dettagliata rispetto all'analisi standard per rifrattori (es. metodo GRM) consentendo di distinguere, con rappresentazioni a linee di isovelocità, intorni minimi con caratteristiche differenziate per variazioni di consistenza, grado di alterazione, granulometria e addensamento. La prospezione sismica con tecnica tomografica, grazie al suo dettaglio, può “esaltare” effetti di anisotropia laterale anche all'interno di un livello litostratigrafico indicati da significative variazioni dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche che evidenziano strati alterati non sempre individuabili direttamente. L'elaborazione tomografica è in grado quindi di differenziare maggiormente le variazioni nel grado di consistenza dell'ammasso roccioso rispetto anche alle altre tecniche sismiche; inoltre con questa tecnica si sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici, per cui le tecniche tradizionali di sismica a rifrazione non riescono a discriminare il grado di consistenza, alterazione o disomogeneità dell'ammasso.

Infine la tecnica permette di raggiungere maggiori profondità d'investigazione sopperendo alla comune mancanza di rifrattori significativi procedendo in profondità.

ALLEGATO 2

Indagini svolte a supporto del PGT

INDAGINE SITO 1

Ubicazione indagine

Via Onissera – Viganò

525.374 - 5.062.946 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE MASW e Tomografia

Acquisitore= sismografo multi-canale PASI 16SG24 a 24 canali

Numero geofoni= 12-verticali

Frequenza geofoni= 4,5 Hz

Distanza intergeofonica= 3 m

Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 0,5 s (Tomo) – 2 s (MASW)

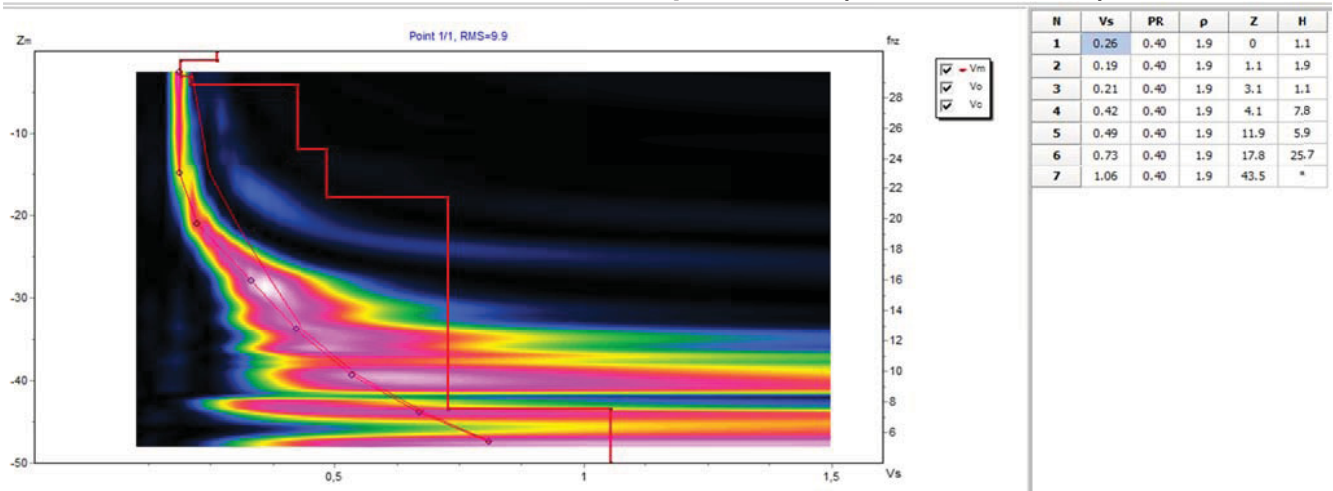
Tempo campionamento= 0,128 (Tomo) – 2 (MASW) ms

Filtri= nn

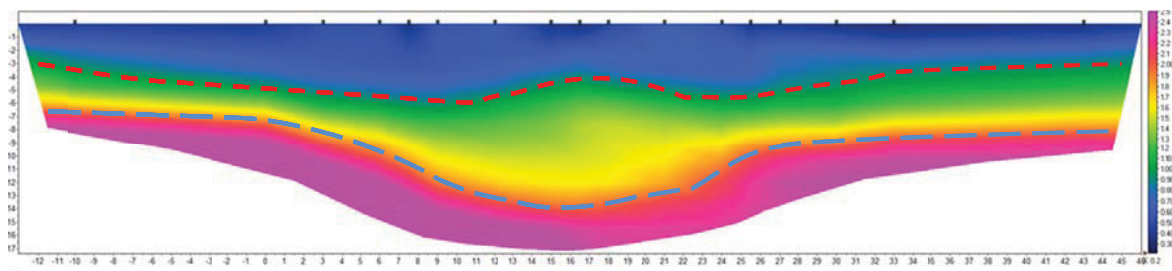
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking* ed andamento delle Vs con la profondità (VS model in m/s)

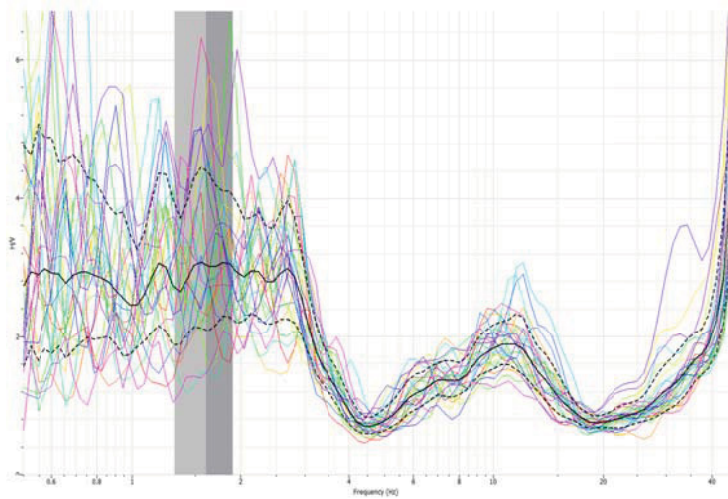


TOMOGRAFIA SISMICA

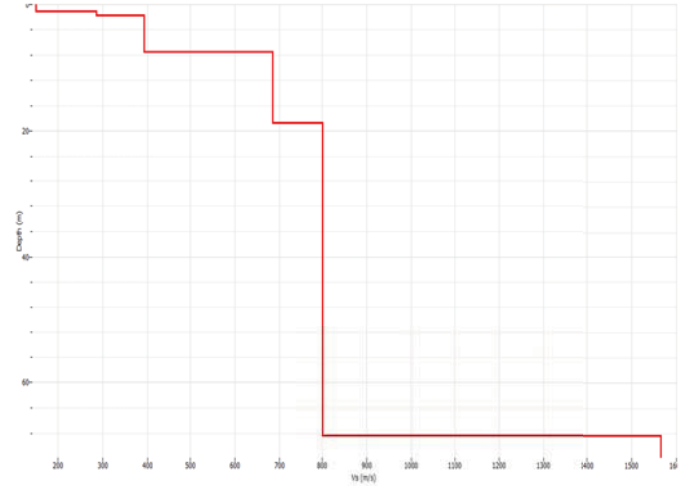


HVSR

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



MODELLO SISMICO

Strato	H (m)	Vs (m/s)
1	3,1	200
2	7,8	420
3	5,9	490
4	25,7	730

INDAGINE SITO 2

Ubicazione indagine

Via XXIV Maggio – Viganò

525.166 - 5.063.711 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Acquisitore= sismografo multi-canale PASI 16SG24 a 24 canali

Numero geofoni= 12-verticali

Frequenza geofoni= 4,5 Hz

Distanza intergeofonica= 3 m

Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 0,5 s (Tomo) – 2 s (MASW)

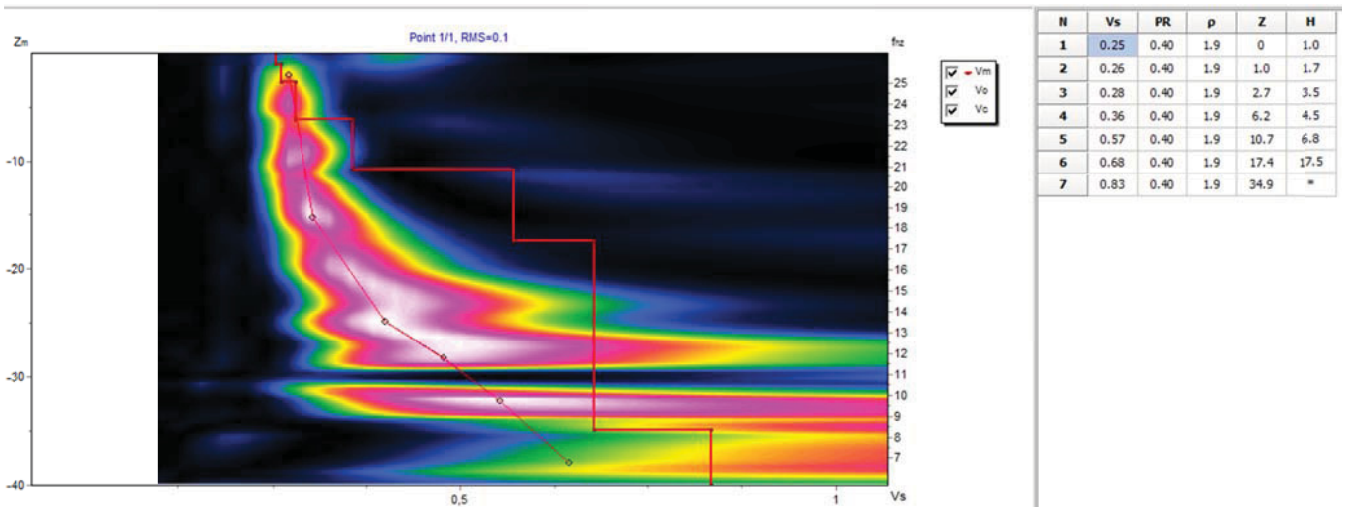
Tempo campionamento=0,128 ms (Tomo) –2 ms (MASW)

Filtri= nn

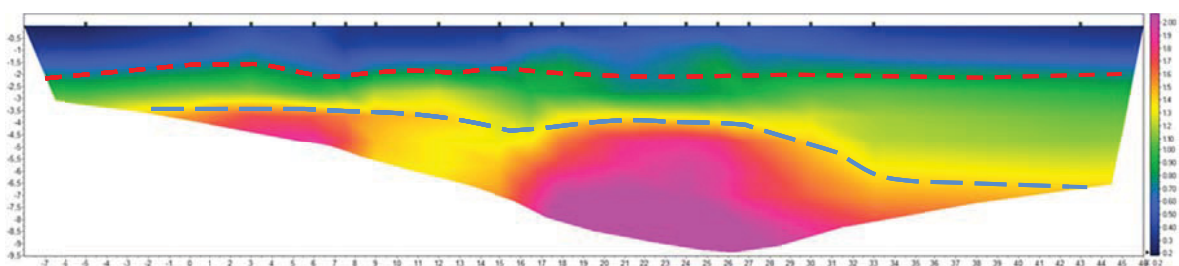
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking* ed andamento delle Vs con la profondità (VS model in m/s)

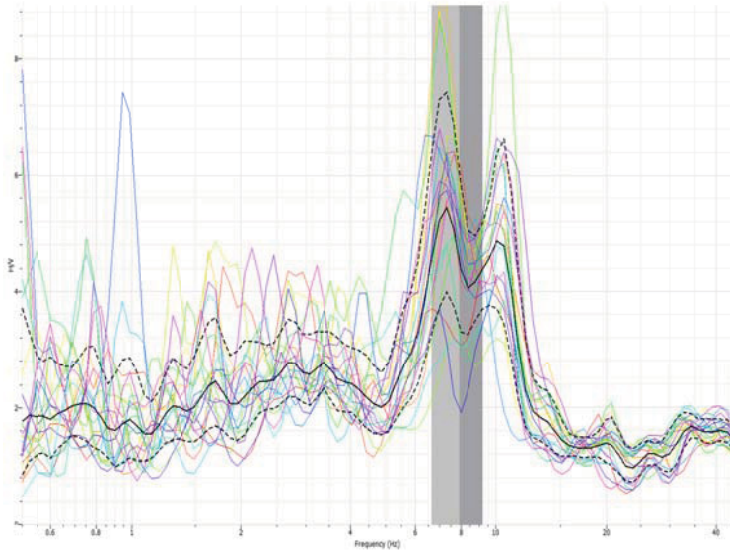


TOMOGRAFIA SISMICA

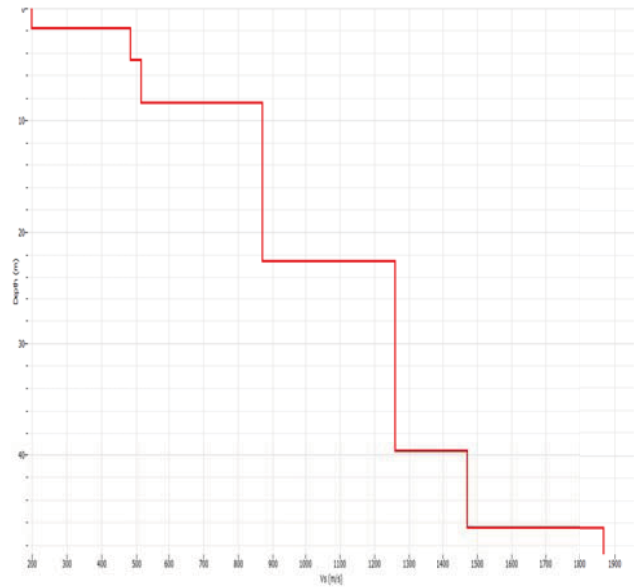


HVSR

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



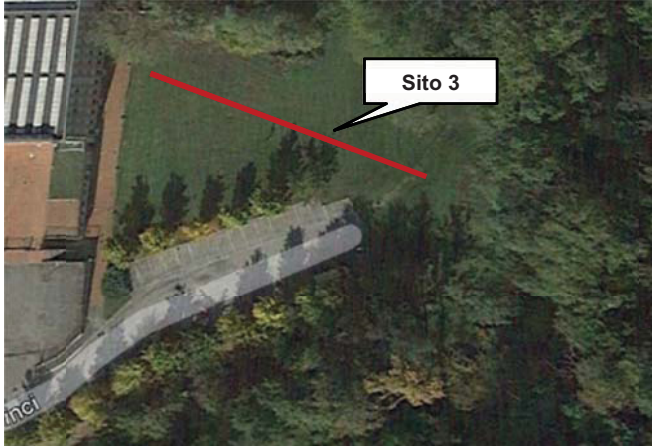
MODELLO SIMISCO

Strato	H (m)	Vs (m/s)
1	1,7	260
2	3,5	280
3	4,5	360
4	6,8	570
5	17,5	680

INDAGINE SITO 3

Ubicazione indagine

Via Leonardo Da Vinci – Viganò
525.704 - 5.063.312 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Acquisitore= sismografo multi-canale PASI 16SG24 a 24 canali

Numero geofoni= 12-verticali

Frequenza geofoni= 4,5 Hz

Distanza intergeofonica= 4 m

Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 0,5 s (Tomo) – 2 s (MASW)

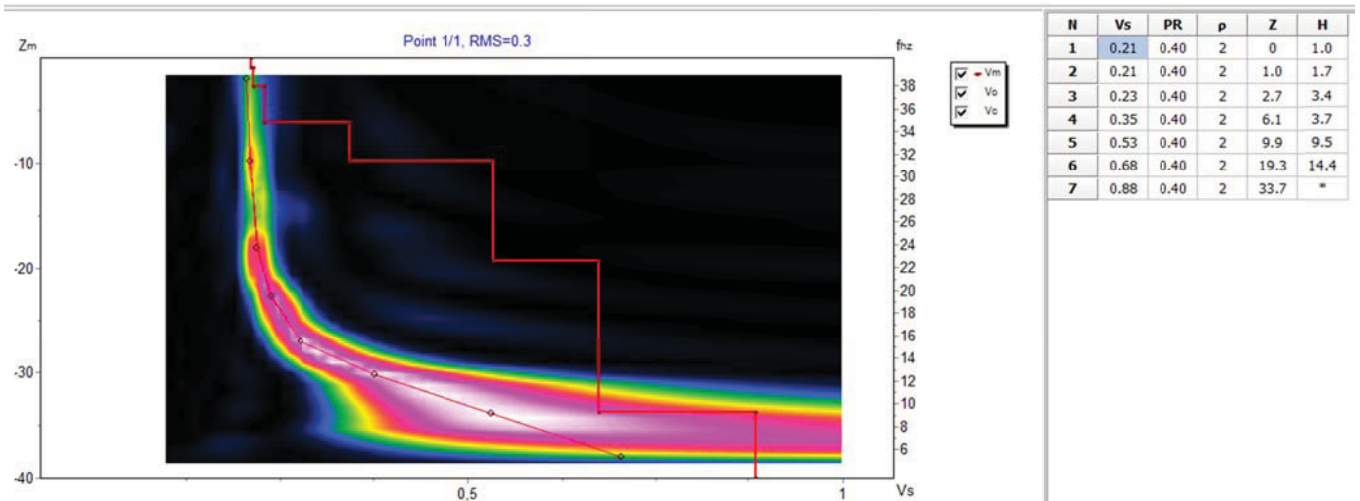
Tempo campionamento= 0,128 ms (Tomo) – 2 ms (MASW)

Filtri= nn

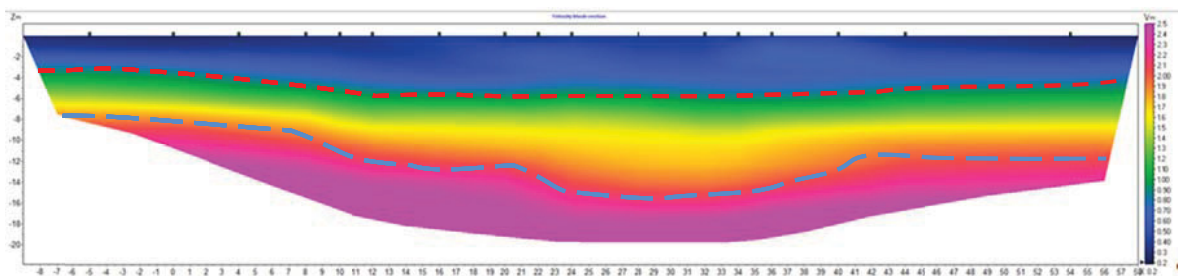
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking* ed andamento delle Vs con la profondità (VS model in m/s)

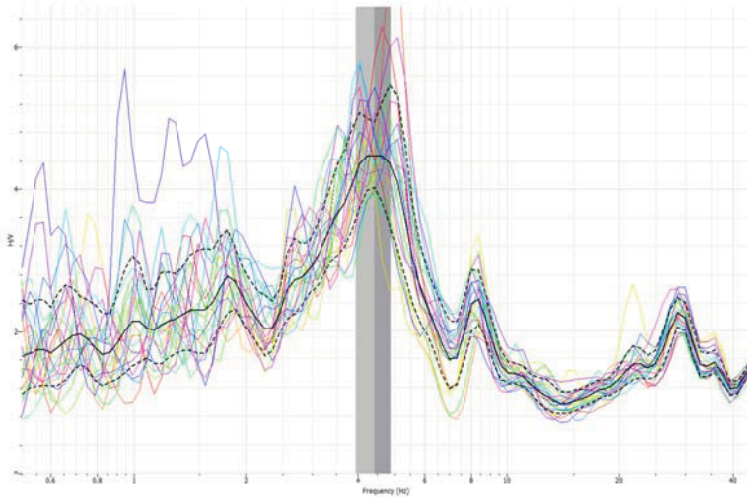


TOMOGRAFIA SISMICA

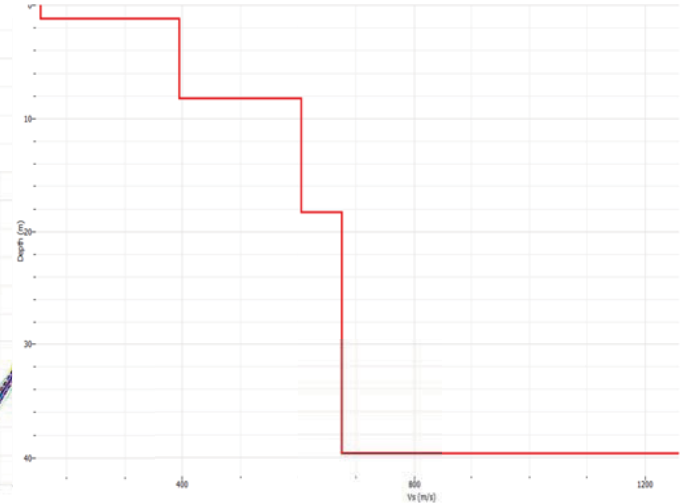


HVSR

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



MODELLO SISMICO

Strato	H (m)	Vs (m/s)
1	1,7	210
2	3,4	230
3	3,7	350
4	9,5	530
5	14,4	680

INDAGINE SITO 4

Ubicazione indagine

Via Del Peschierone – Viganò
525.999 - 5.063.700 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Acquisitore= sismografo multi-canale PASI 16SG24 a 24 canali

Numero geofoni= 12-verticali

Frequenza geofoni= 4,5 Hz

Distanza intergeofonica= 4 m

Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 0,5 s (Tomo) – 2 s (MASW)

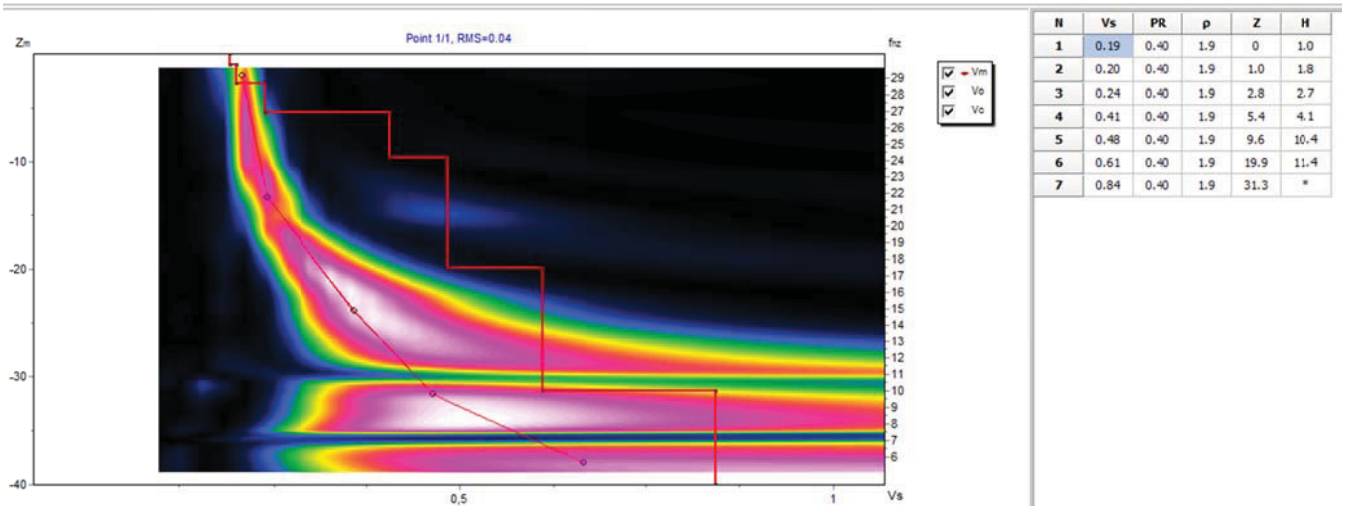
Tempo campionamento= 0,128 ms (Tomo) – 2 ms (MASW)

Filtri= nn

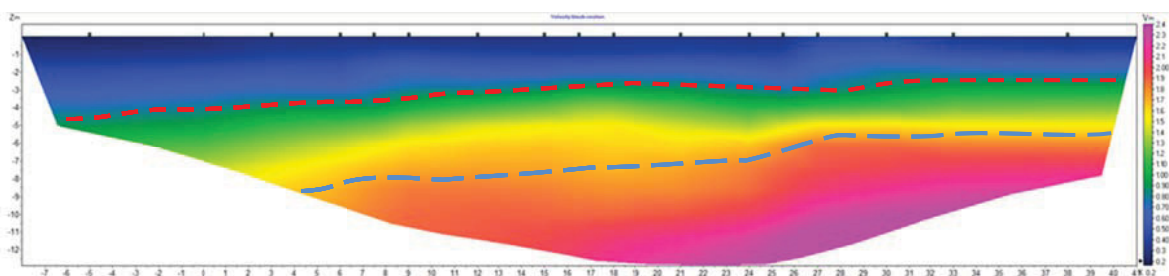
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking* ed andamento delle Vs con la profondità (VS model in m/s)

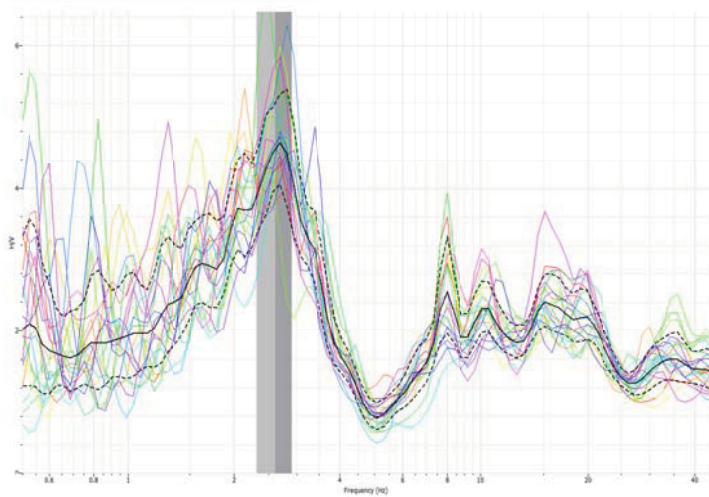


TOMOGRAFIA SISMICA

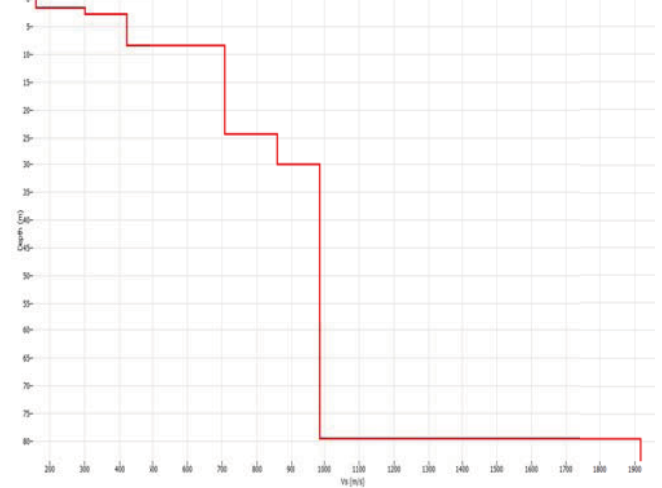


HVSR

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



MODELLO SISMICO

Strato	H (m)	Vs (m/s)
1	1,8	200
2	2,7	240
3	4,1	410
4	10,4	480
5	11,4	610

INDAGINE SITO 5

Ubicazione indagine

Via Delle Molere – Viganò
525.910 - 5.062.808 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Acquisitore= sismografo multi-canale PASI 16SG24 a 24 canali

Numero geofoni= 3 multidirezionali (X, Y e Z)

Frequenza geofoni= 2mHz

Distanza intergeofonica= /

Energizzazione= onde naturalmente generate

Durata acquisizioni= 15 min

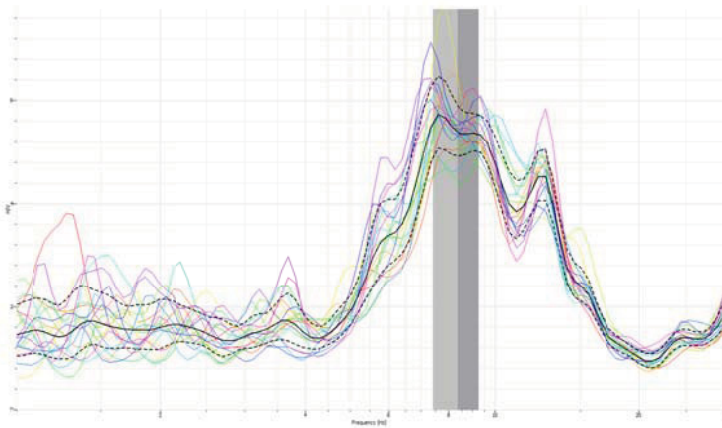
Tempo campionamento= 0,05s

Filtri= nn

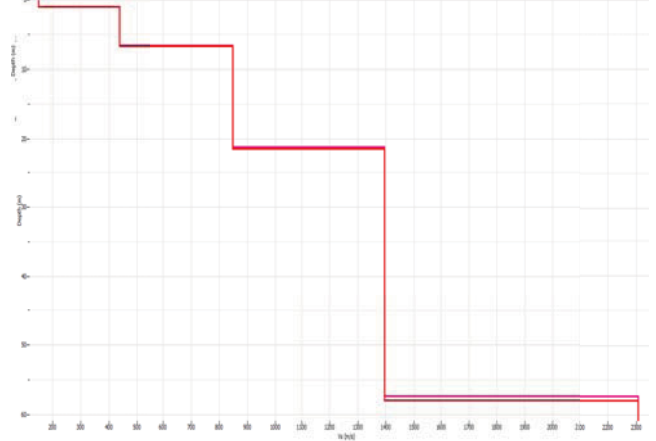
Data acquisizione= Aprile 2023

HVSR

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



MODELLO SISMICO

Strato	H (m)	Vs (m/s)
1	1	200
2	7	420

ALLEGATO 3

Indagini fornite dal Comune

INDAGINE SITO I

Ubicazione indagine

Azienda Tenax – Viganò

525.362 - 5.062.688 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= 24

Frequenza geofoni= 4,5 Hz

Distanza intergeofonica= 1,5 m

Energizzazione= mazza da 9 kg

Durata acquisizioni= 2 s (MASW)

Tempo campionamento= 2 ms (MASW)

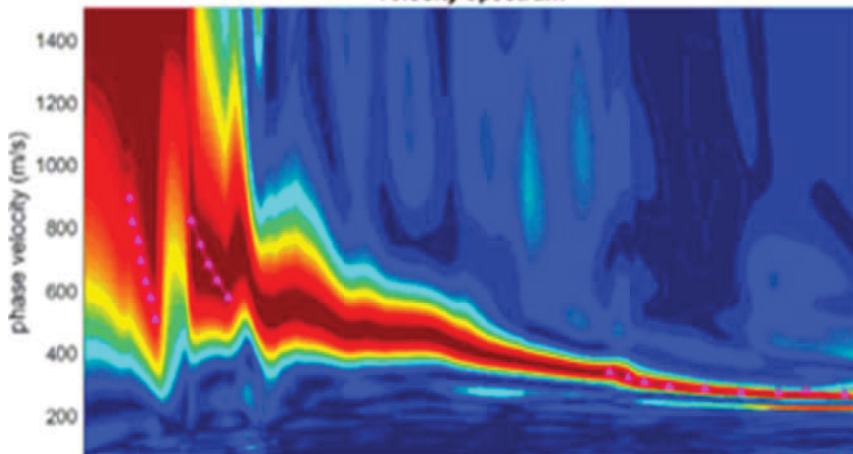
Filtri= nn

Fonte: FUSINA S.R.L. - Monza (MB)

MASW

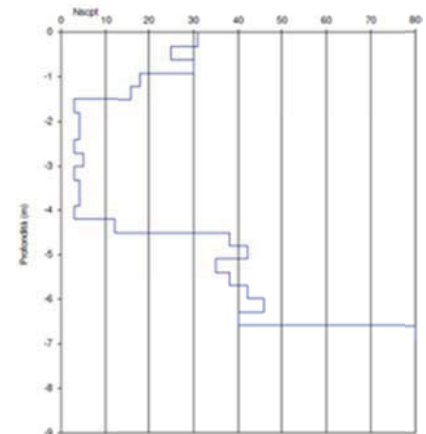
Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking*

velocity spectrum



Andamento delle Vs con la profondità (VS model in m/s)

PROVA PENETROMETRICA N.1



Da Prof.	± Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	.7	76	.0088	76	9
.7	2.6	134	.0143	111	29
2.6	6.7	434	.0094	205	365
6.7	11.3	462	.01	265	420
11.3	20.9	528	.0182	344	566
20.9	30.1	578	.0159	392	693
30.1	38.6	609	.014	426	783

INDAGINE SITO II

Ubicazione indagine

Via Dell'industria – Viganò

525.018 - 5.063.285 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= 3 multidirezionali (X, Y e Z)

Frequenza geofoni= 2 Hz

Distanza intergeofonica= /

Energizzazione= onde naturalmente generate

Durata acquisizioni= 15 min (HVSR)

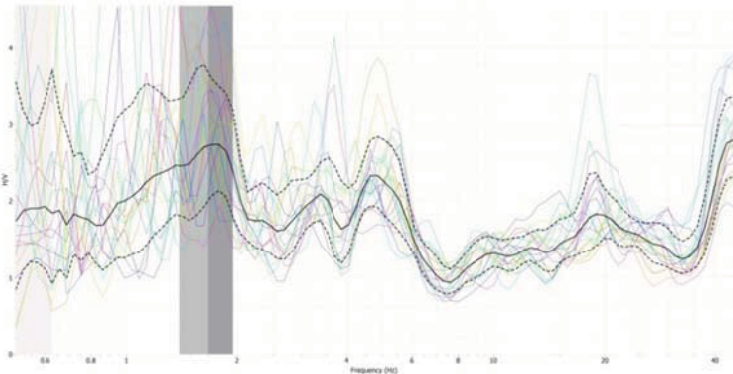
Tempo campionamento= 0,05s (HVSR)

Filtri= nn

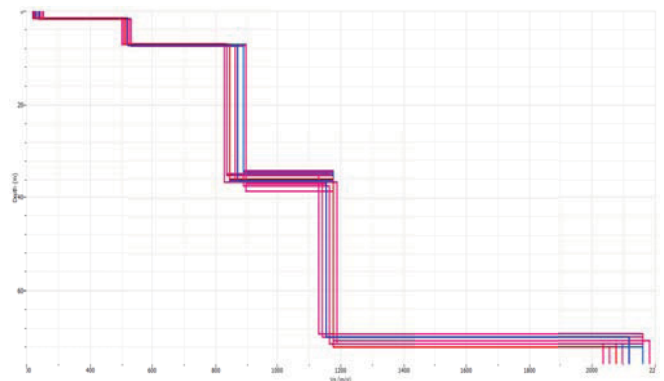
Fonte: Studio Tecno Geo, Bergamo (Bg)

HVSR

Grafico dello spettro H/V



Andamento delle velocità delle onde di taglio



N.B. = l'indagine ha presentato un basso grado di affidabilità relativamente ai criteri di validità Sesame.

MODELLO SISMICO

Unità	Profondità (m)	Descrizione	V _s (m/s)
1	2	Limo sabbioso ghiaioso	230
2	7	Ghiaie sabbiose con blocchi addensate	520
3	35	Ghiaie con blocchi anche ciclopici addensate e a tratti cementate	870
4	-	Roccia arenitica	>900

INDAGINE SITO III

Ubicazione indagine

Via Belvedere – Viganò

524.871 - 5.063.536 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= /

Frequenza geofoni= /

Distanza intergeofonica= /

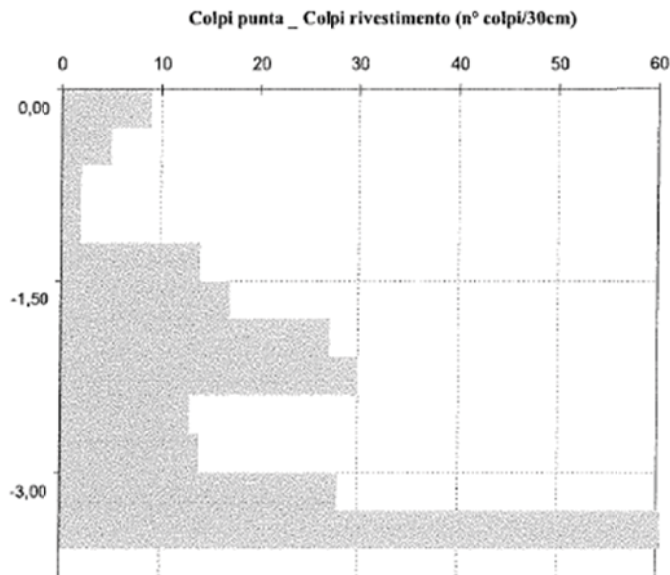
Energizzazione= maglio

Filtri= nn

Fonte= Dott. Geologo Maria Villa

PROVA PENETROMETRICA

Grafico del numero di colpi ogni 30cm in base all'andamento della profondità



Modello sismico

Orizzonte	Prof. Base strato (m)	Spessore strato (m)	Vs (m/s)
1	2.8	2.8	240
2	25.8	23	380
3	-	-	740

INDAGINE SITO IV

Ubicazione indagine

Via Piave – Viganò

525.504 - 5.063.607 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= 3 multidirezionali (X, Y e Z)

Frequenza geofoni= 2 Hz

Distanza intergeofonica= /

Energizzazione= onde naturalmente generate

Durata acquisizioni= 15 min (HVSr)

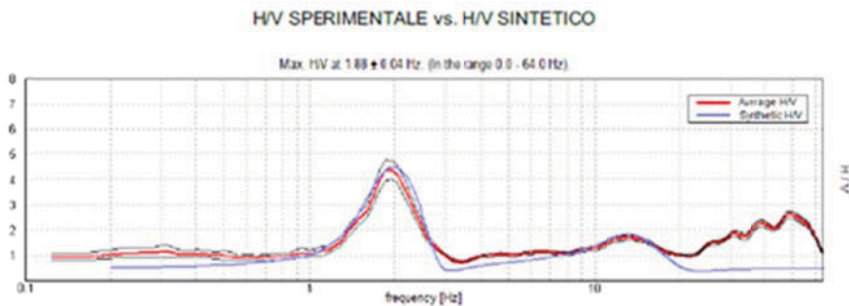
Tempo campionamento= 0,05s (HVSr)

Filtri= nn

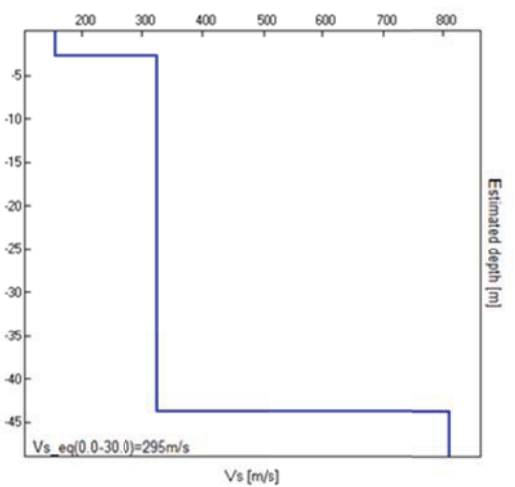
Fonte: Dott. Geologo Maria Villa

HVSr

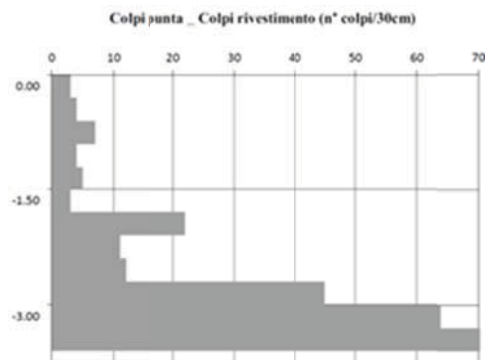
Grafico dello spettro H/V



Andamento delle velocità delle onde di taglio



PROVE PENETROMETRICHE



INDAGINE SITO V

Ubicazione indagine

Via Guglielmo Marconi – Viganò
525.578 - 5.063.571 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



DATI DELL'ACQUISIZIONE

Numero geofoni= 24 verticali

Frequenza geofoni= 4,5 Hz

Distanza intergeofonica= 1,5m

Energizzazione= Mazza da 8 kg

Durata acquisizioni= 2 s (MASW)

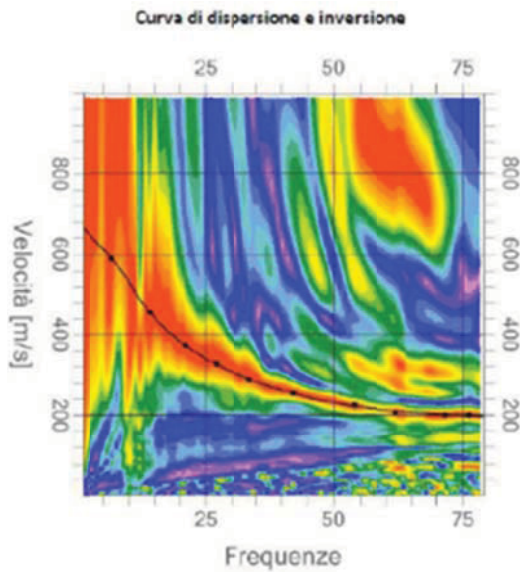
Tempo campionamento=2 ms (MASW)

Filtri= nn

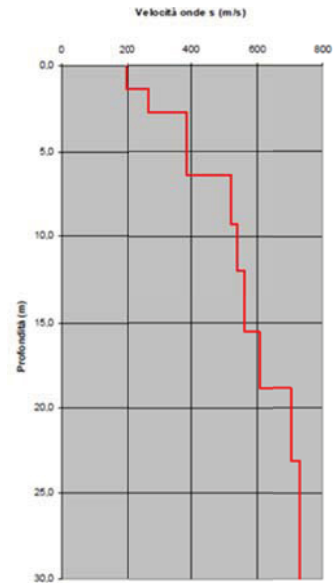
Fonte= Dott. Geologo Michele Salvioni

MASW

Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking*



Andamento delle Vs con la profondità (VS model in m/s)



MODELLO SISMICO

N. Strato	Profondità (m)	V _s (m/s)
1	0,0÷1,3	198
2	1,3÷2,7	270
3	2,7÷6,4	357
4	6,4÷9,3	521
5	9,3÷12,0	540
6	12,0÷15,6	560
7	15,6÷18,9	608
8	18,9÷23,1	706
9	23,1÷∞	730

ALLEGATO 3

Stratigrafie pozzi

Fonte: Banca Geologica di Sottosuolo Regione Lombardia

STRATIGRAFIA A

Ubicazione indagine

Via Papa Giovanni XXIII - Viganò
524.901 - 5.063.235 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)

RISULTATI INDAGINE



INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: VIGANO` IDE: B5D249323261

QUOTA (m s.l.m.): 400 PROFONDITA'(m): 50,4 NUMERO STRATI: 6

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	14	14	GHIAIA CON ERRATICI E TROVANTI	G GB GB
2	14	15,5	1,5	GHIAIA	G
3	15,5	25	9,5	GHIAIA	G
4	25	42	17	GHIAIA CON ERRATICI E TROVANTI	G GB GB
5	42	43,5	1,5	SABBIA	S
6	43,5	50,4	6,9	ARENARIA	S

STRATIGRAFIA B

Ubicazione indagine

Via Della Bandagera – Viganò
526.022 - 5.063.508 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)

RISULTATI INDAGINE



INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: VIGANO` IDE: B5D260443528

QUOTA (m s.l.m.): 385 PROFONDITA'(m): 45 NUME

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	25	25	ARGILLA	A
2	25	27	2	SABBIA E GHIAIA	S G
3	27	39	12	ARGILLA E LIMI	A L
4	39	44	5	SABBIA E CIOTTOLI	S GC
5	44	45	1	ROCCIA CARBONATICA	BZ

STRATIGRAFIA C

Ubicazione indagine
Via Leonardo Da Vinci – Viganò
525.730 - 5.063.285 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



RISULTATI INDAGINE

INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: VIGANO' IDE: B5D257753310

QUOTA (m s.l.m.): 375 PROFONDITA'(m): 36 NUMERO STRATI: 8

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	2		2 TERRENO VEGETALE ED ERRATICI E TROVANTI	ZS GB GB
2	2	3		1 ERRATICI E TROVANTI	GB GB
3	3	13	10	10 CIOTTOLI E GHIAIA	GC G
4	13	16	3	3 ERRATICI E TROVANTI	GB GB
5	16	26	10	10 ARGILLA E GHIAIA E CIOTTOLI ED ERRATICI E TROVANTI	A G GC GB
6	26	33	7	7 GHIAIA	G
7	33	35	2	2 ARGILLA	A
8	35	36	1	1 ROCCIA CARBONATICA	BZ

STRATIGRAFIA D

Ubicazione indagine
Via Leonardo Da Vinci – Viganò
525.613 - 5.063.240 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



RISULTATI INDAGINE

INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: VIGANO' IDE: B5D256673248

QUOTA (m s.l.m.): 370 PROFONDITA'(m): 32 NUMERO STRATI: 10

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	1		1 TERRENO VEGETALE	ZS
2	1	6	5	5 GHIAIA CON SABBIA E CIOTTOLI	G S GC
3	6	7,5	1,5	1,5 SILT CON GHIAIA	L G
4	7,5	11	3,5	3,5 GHIAIA E SABBIA	G S
5	11	12,5	1,5	1,5 ERRATICI E TROVANTI	GB GB
6	12,5	14,5	2	2 SILT	L
7	14,5	24	9,5	9,5 SABBIA FINE CON TRACCE DI SILT	S4 L
8	24	28,5	4,5	4,5 GHIAIA E SABBIA E CIOTTOLI	G S GC
9	28,5	29,5	1	1 DOLOMIA	BZ
10	29,5	32	2,5	2,5 DOLOMIA	BZ