



Regione Lombardia



Comune di Barzago



Provincia di Lecco

COMUNE DI BARZAGO

PIANO DELLE REGOLE

<p>EL. TESTUALE</p> <p>GO</p>	<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>Dott. Geol. Luigi Corna</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="135 1601 438 1892"> <p><i>Matteo Rota</i></p> </div> <div data-bbox="1173 1590 1500 1915"> <p><i>Luigi Corna</i></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; margin-top: 20px;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; margin-top: 5px;"> <p style="font-size: small;"> Corna Pelizzoli Rota s.r.l. Società di Ingegneria Sede: Via Corridoni n. 27 - 24124 Bergamo C.F. e P.IVA: 03455600167 - N.REA: BG-0380191 Tel. 035 4175299 http://www.studiotecnogeo.it </p> <p style="font-size: small; margin-left: 20px;"> Dott. Geol. Luigi Corna Ordine Regionale dei Geologi della Lombardia n. 765 Dott. Ing. Davide Pelizzoli Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bergamo n. 2994 Dott. Geol. Matteo Rota Ordine Regionale dei Geologi della Lombardia n. 1230 </p> </div>	
<p>Data: Novembre 2024</p>	

INDICE

1. PREMESSA	3
2. VALUTAZIONI RELATIVE AL FENOMENO DELLE SINKHOLE	4
3. FASE DI ANALISI	4
3.1. Analisi della pericolosità sismica, indicazioni generali	4
3.2. Procedura di primo livello – Carta di pericolosità sismica locale (Tavola G1a).....	7
3.2.1. Descrizione della procedura	7
3.2.2. Descrizione della carta della pericolosità sismica locale.....	8
3.3. Procedura di secondo livello Carta valutazione effetti sismici di sito (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 Barzago	12
4. FASE DI SINTESI VALUTAZIONE.....	17
4.1. Carta di Sintesi (Tavola G2)	17
4.2. Carta PAI – PGRA (Tavola G6).....	18
5. FASE DI PROPOSTA	19
5.1. Carta dei Vincoli (Tavola G3).....	19
5.2. Carta di fattibilità geologica (Tavola G4 – G5)	20
6. NORME GEOLOGICHE DI PIANO	22
6.1. CLASSE 3 (arancione) - Fattibilità con consistenti limitazioni	22
6.2. CLASSE 4 (Rosso) - Fattibilità con gravi limitazioni.....	23
6.3. Normativa d’uso derivante dalla componente sismica.....	27

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 geologico strutturale – Scala 1:10.000

Tav. 02 – Carta geomorfologica con elementi geopedologici– Scala 1:10.000

Tav. 03 – Carta idrogeologica e dell'idrografia superficiale – Scala 1:10.000

Tav. 04a – Carta geologico applicativa – Scala 1: 2.000

Tav. 04a – Carta geologico applicativa – Scala 1: 2.000

Relazione geologica (per le parti relative alle tavole del 2005 mantenute)

Cartografia revisionata 2024

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

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

Tavola G2 – Carta di Sintesi- scala 1:5.000

Tavola G3a – Carta dei Vincoli - scala 1:2.000

Tavola G3b – Carta dei Vincoli - scala 1:2.000

Tavola G4a – Carta della Fattibilità Geologica - scala 1:2.000

Tavola G4b – Carta della Fattibilità Geologica - scala 1:2.000

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

Tavola G6a – Carta PAI - PGRA - scala 1:2.000

Tavola G6b – Carta PAI - PGRA - scala 1:2.000

1. PREMESSA

Il Comune di Barzago con determinazione n. 130 del 25.05.2021 e successiva determina n. 145 del 13.11.2024 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 (l.r.12/2005, art. 8, comma 1, lettera c)
- 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 (l.r.12/2005, art. 10, comma 1, lettera d)

Il comune di Barzago 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 delle relazioni di aggiornamento redatte nel 2005 sono state riportate 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 dall'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 geologico strutturale – Scala 1:10.000
- Tav. 02 – Carta geomorfologica con elementi geopedologici– Scala 1:10.000
- Tav. 03 – Carta idrogeologica e dell'idrografia superficiale – Scala 1:10.000
- Tav. 04a – Carta geologico applicativa – Scala 1: 2.000
- Tav. 04a – Carta geologico applicativa – Scala 1: 2.000
- Relazione geologica (per le parti relative alle tavole del 2005 mantenute)

3.1. Analisi della pericolosità sismica, indicazioni generali

Di seguito si riporta, con le necessarie integrazioni, quanto riportato nella relazione del 2005 relativo alle analisi sismiche di primo livello svolte.

A partire dal 2003 sono stati definiti gli elementi in materia di criteri per la classificazione del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, e il territorio di Barzago rientra nella zona 3.

Per la definizione della pericolosità sismica la normativa di riferimento è la deliberazione giunta regionale 22 dicembre 2005- n.8/1566, "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n12".

Di seguito si sintetizzano i contenuti relativi a tale delibera.

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 base al comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area. In funzione quindi delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica e quelli dovuti ad instabilità.

Gli **effetti di sito** o di amplificazione sismica locale: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti 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 il *bedrock* a causa dell'interazione delle onde sismiche con le 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 rappresentate 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 a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (*bedrock*) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto.
- Effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno., fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrazione del terreno e della sovrastruttura.

Gli **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 in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.

Nel caso di versanti in equilibrio precario (in materiale sciolto o in roccia) si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali e colamenti), per cui il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento 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 affioramenti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture.

Nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche 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 granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluisamenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

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 di riferimento per la valutazione dell'amplificazione sismica locale è riportata nell'allegato 5 della D.G.R. 22 dicembre 2005 n. 8/1566. La metodologia utilizzata si fonda sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione della Regione Lombardia i cui risultati sono contenuti in uno studio pilota redatto dal Politecnico di Milano.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

1° LIVELLO: riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche sia di dati esistenti. Questo livello è obbligatorio per tutti i comuni e prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale- PSL).

2° LIVELLO: caratterizzazione semi quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella carta di pericolosità locale che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). L'amplificazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare da effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o in alternativa utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore.

Il secondo livello è obbligatorio per i comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3 (come nel caso del comune di Barzago), nelle PSL individuate attraverso il primo livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4) ed interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica. Per i comuni ricadenti in zone sismiche 4 tale livello deve essere applicato, nelle aree PSL Z3 e Z4 nel caso di costruzioni strategiche e rilevanti ai sensi della d.g.r. n. 14964/2003; ferma restando la facoltà dei comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

3° LIVELLO: è obbligatorio anche nel caso in cui si stiano progettando costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.

Nella carta di pericolosità sismica locale devono essere riportate con appositi retini trasparenti le aree a pericolosità sismica locale distinguendo quelle con Fa maggiore al valore soglia comunale da quelle con fa minore.

3.2. Procedura di primo livello – Carta di pericolosità sismica locale (Tavola G1a)

3.2.1. Descrizione della procedura

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti. Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di primo livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche. Lo studio consiste nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (carta geologica, carta geomorfologia, ecc.) e nella redazione di un'apposita cartografia (a scala 1:10.000 - 1:2.000) rappresentata dalla carta della pericolosità sismica locale, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franca 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

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento e permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e dei successivi livelli di approfondimento necessari.

3.2.2. Descrizione della carta della pericolosità sismica locale

La carta della pericolosità sismica locale ha individuato i seguenti scenari di pericolosità.

- Z1a: Zone caratterizzate da movimenti franosi attivi. Nel territorio comunale è stato individuato 1 fenomeno franoso attivo di ubicato a nord di via santuario inferiore all'interno di un'incisione valliva. Si tratta di scivolamento di materiale detritico.
- Z2: Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (terreni granulari fini con falda superficiale). Interessano prevalentemente i depositi di origine lacustre ubicati nei fondovalle con piccola soggiacenza della falda. Occupano un vasta porzione del territorio comunale.
- Z3a: Zona di ciglio $H > 10$ m (bordo di cava). Nella porzione settentrionale del territorio comunale in località cascina Molera è presente un fronte roccioso di una cava attualmente dimessa.
- Z4c: Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche). Tale zona occupa la maggior estensione del territorio comune in quanto interessato da depositi di origine glaciale. Sulla base dei rilievi svolti e della nuova carta geologica redatta nel progetto CARG (vedi anche tavola G1b) a tale scenario è stata attribuita anche la zona di scarpata del settore centro settentrionale in precedenza esclusa da scenari di pericolosità sismica.

3.3. Procedura di secondo livello Carta valutazione effetti sismici di sito (Tavola G1b)

Di seguito si riporta l'analisi di secondo livello specificatamente svolta per il territorio comunale di Barzago.

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 (Fa); 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 Fa.

Il valore di Fa 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 Fa 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 Fa 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 Barzago 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 2.

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 2).

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 2); 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.

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

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 2). 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 2) 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 4° e 4b di Figura 2) 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 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 Barzago.

Periodo	Suolo tipo				
	A	B	C	D	E
0.1 – 0.5 s	1	1,4	1,8	2,2	2,0
0.5 – 1.5 s	1	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 1: valori di soglia (come da normativa nazionale) per il comune di Barzago.

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

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:

<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 (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 2 – Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi

3.3.3. Analisi svolta per il territorio di Barzago

3.3.3.1. Effetti morfologici

Nel territorio comunale di Barzago nella tavola delle PSL è stato individuato un solo orlo di ciglio nella zona di cava (Zona Z3a).

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.

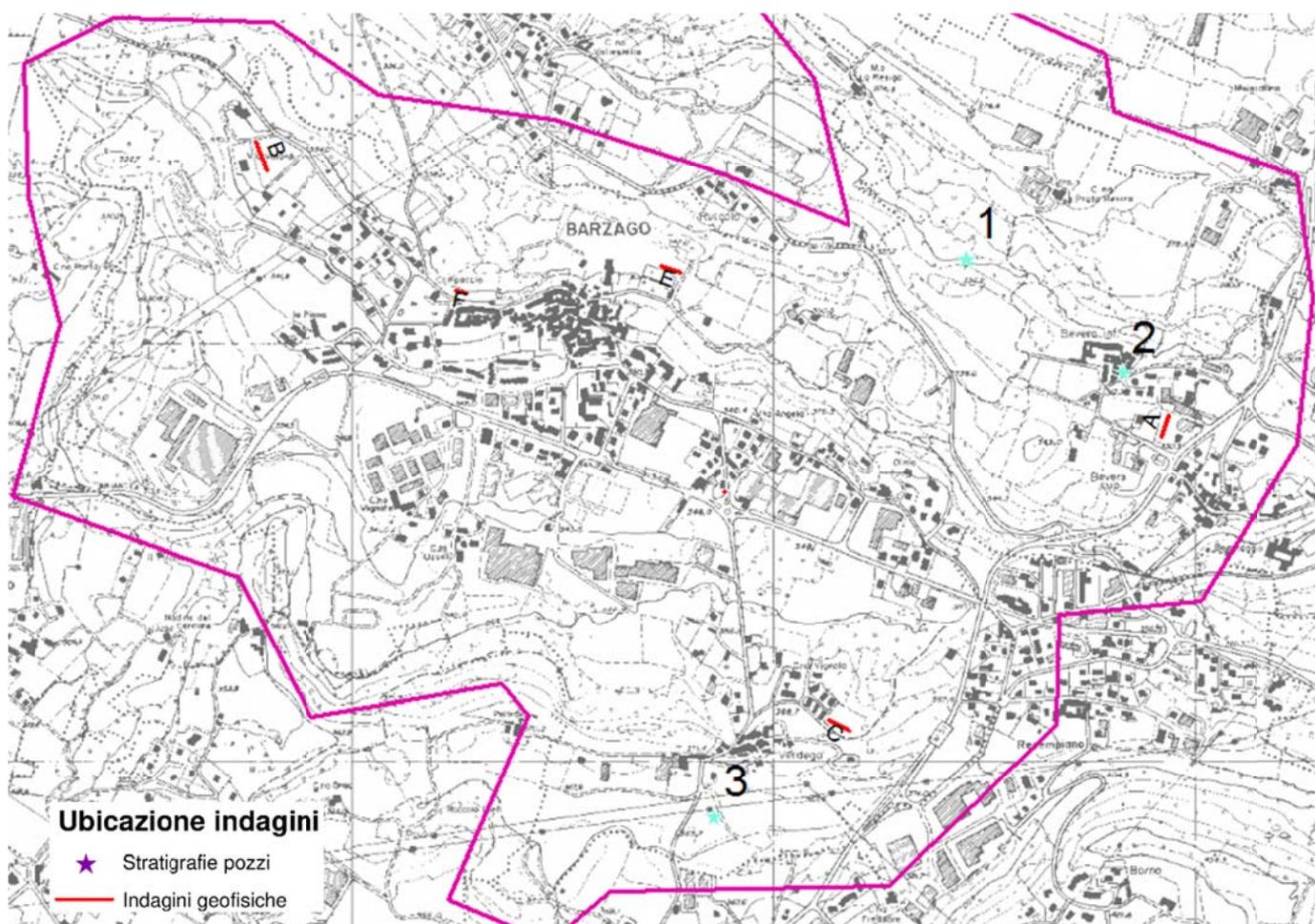


Figura 1: ubicazione delle indagini e stratigrafie più significative considerate.

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

Per quanto riguarda le nuove indagini geofisiche eseguite specificatamente per il PGT, sono indicate con le sigle A, B e C; mentre le indagini preesistenti e fornite dal Comune con le sigle D, E ed F.

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

In Figura 1 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).

Con il simbolo della stella si sono identificati i pozzi di cui si è considerata la stratigrafia.

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 A-B-C (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 analisi di terzo livello a supporto di ciascun intervento in progetto.

3.3.3.2.2. Analisi svolta per il calcolo Fa 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 Barzago 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 limoso-sabbiosa. Nella scelta della scheda si è inoltre considerato il campo di validità dell'andamento delle V_s con la profondità.

Nella Tabella 3 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 3 – 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 2 si è riportata la procedura ed i risultati ottenuti per l'indagine del Sito A, procedura valida per tutti gli altri Siti.

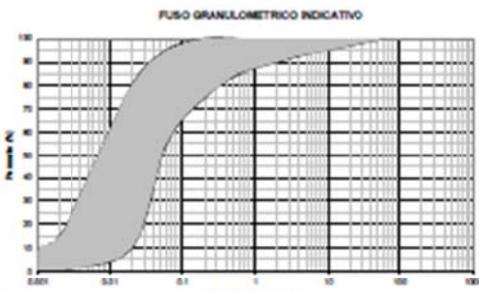
Indagine Sito A

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1

PARAMETRI INDICATIVI

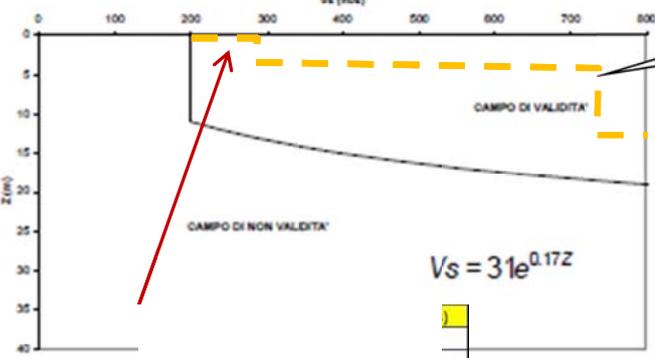
GRANULOMETRIA:
 Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:
 Comportamento coesivo
 Frazione limosa ad un massimo del 95%
 Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
 Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
 Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
 Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
 A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi



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

ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'

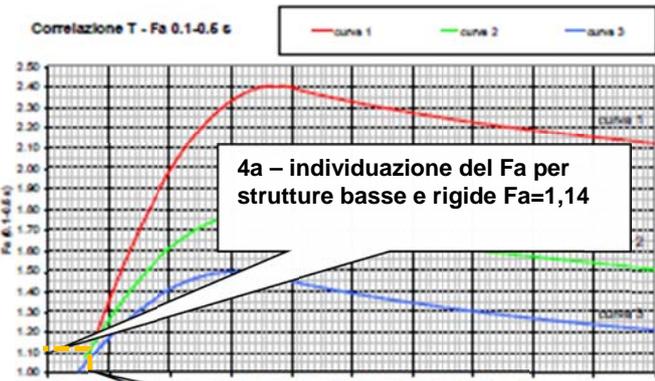


1b – verifica validità scheda di riferimento
 Andamento V_s con profondità derivato dalla MASW 1

Profondità primo strato (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
200				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
250				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
300				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		

2 – scelta curva, la 2
 Primo livello ha spessore di 4 m con $V_s=263$ m/s

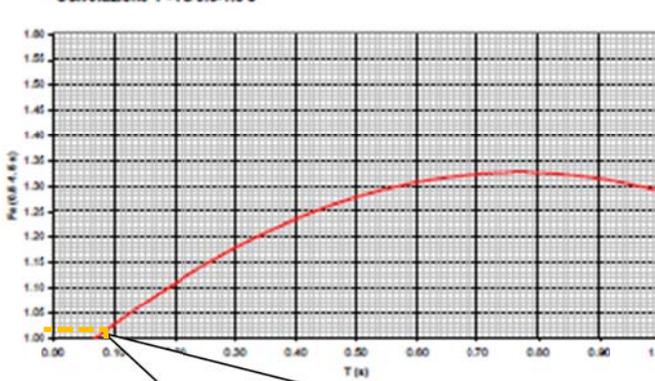
Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



4a – individuazione del Fa per strutture basse e rigide Fa=1,14

3 – individuazione T
 Si ha 0,07 s

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



4b – individuazione del Fa per strutture alte e flessibili Fa=1,00

Figura 2: 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 3.

Nella Tabella 4 seguente si è riportata per ciascun Sito la sintesi dei risultati ottenuti dalla procedura di secondo livello sismico.

Sito	V_{seq}	Classe NTC18	Scheda	Primo strato		Curva	T_s (s)	0,1-0,5 (s)		0,5-1,5 (s)	
				Spessore	V_s (m/s)			F_a	Cl	F_a	Cl
A	263	B	Lim sab tipo 1	5	263	2	0,07	1,14	E	1,00	B
B	329	E	Sabbiosa	5,6	225	2	0,16	1,45	E	1,13	E
C	393	B	Lim sab 2	9	286	2	0,23	1,93	E	1,19	B
D	285	E	Lim sab 2	8	234	2	0,23	1,93	E	1,19	E
E	274	E	Lim sab 2	6	274	2	0,06	1,02	E	0,92	E
F	507	B	Sabb	4	200	2	0,34	1,68	E	1,22	B

Tabella 4: sintesi dell'elaborazione dell'analisi di secondo livello sismico per ciascun Sito.

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 E.

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 sempre e solo la E. Pertanto in fase di progettazione si dovrà procedere con specifiche analisi di terzo livello sismico oppure attribuire la classe di suolo E (oppure D).

Per quanto concerne invece gli edifici alti e flessibili compresi nella categoria del periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s la classe di suolo caratteristica delle NTC18 risulta sempre compatibile. Pertanto in fase di progettazione sarà possibile attribuire la classe di suolo derivante dall'indagine svolta.

4. FASE DI SINTESI VALUTAZIONE

4.1. Carta di Sintesi (Tavola G2)

La carta riprende nella sostanza quella redatta nel 2005 di cui si riporta quanto redatto nella relativa relazione.

Tale carta redatta in scala 1:5.000 ha lo scopo di illustrare in un unico elaborato le principali problematiche emerse dallo studio del territorio. Attraverso questa carta si avrà un quadro d'insieme dello stato del territorio comunale utile per la redazione della carta della fattibilità geologica. I problemi individuati necessiteranno di verifiche puntuali e dettagliate nel momento in cui si intenderà passare alla progettazione esecutiva dei singoli interventi di sistemazione. Le valutazioni sono state ricavate incrociando i dati di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e geologico tecnico riportati negli elaborati di inquadramento e di dettaglio.

La carta di sintesi rappresenta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità riferita allo specifico fenomeno che le genera. Di conseguenza questa carta è costituita da una serie di poligoni che definiscono una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di dissesto idrogeologico in atto o potenziale o da vulnerabilità idrogeologica.

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

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti. E' stato individuato un solo elemento collocato nella zona NE del territorio comunale a monte della strada tra via Santuario Inferiore e via Canova. Sono zone dove i processi erosivi tendono a prevalere creando aspetti di debole instabilità dei versanti, alcuni di questi se non eliminati possono degenerare in veri e propri dissesti.

Come interventi si dovrà prevedere il consolidamento dell'area in dissesto.

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

- aree alluvionali e/o ripetutamente allagate;
- aree con ristagni d'acqua. Si tratta di una piccola area individuata nel reticolo minore ma che seppur presenti problematiche legate all'acqua non presenta criticità elevate.

Questo rischio è rappresentato dal dissesto idrogeologico osservabile lungo i principali corsi d'acqua presenti nel territorio comunale di Barzago. Sono state individuate alcune aree caratterizzate da frequenti allagamenti dovuti ad esondazioni del torrente Bevera e della Roggia Lambro del Molinello. Inoltre ricadono in queste aree anche quelle porzioni di territorio caratterizzate da allagamenti o problematiche idrauliche in corrispondenza di intense precipitazioni.

Come interventi si consiglia una riqualificazione ambientale delle aste torrentizia.

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche

- aree con terreno prevalentemente fine (limo e argilla) con limitate resistenze a rottura (capacità portanti);
- aree caratterizzate da riporti di materiale. Si tratta di un solo sito di ridottissime dimensioni posto al limite del ciglio della scarpata nel settore centro settentrionale.

Come interventi prima di ogni edificazione si consiglia di eseguire delle indagini geologico-tecniche ai sensi del D.M. 17.01.2018 per l'individuazione delle caratteristiche geotecniche

Elementi di rilevanza geomorfologica (definiti sulla base del PTCP di Lecco, con la procedura indicata capitolo n. 5.1 al relativo paragrafo), che comportano vincoli all'uso del territorio; coinvolge di fatto gli orli di terrazzo.

4.2. Carta PAI – PGRA (Tavola G6)

Nella cartografia del Piano di Assetto idrogeologico (PAI) si individuano:

- una sola area in frana classificata come attiva, nella zona già individuata anche nella carta di Sintesi;
- aree legate al rischio idraulico di esondazioni, corrispondenti e coincidenti con le aree già identificate nella carta di Sintesi. I fenomeni sono classificati a rischio molto elevato.

Per quanto concerne il Piano di Gestione del Rischio alluvioni (PGRA) si individuano le medesime aree già perimetrate nel PAI come aree a pericolosità molto elevata per esondazione. Esse sono riportate nei rischi relativi al reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM) e sono classificate come alluvioni frequenti corrispondenti a scenari P3 con pericolosità elevata (H).

Le pericolosità rilevate coincidono con quelle identificate nella carta di Sintesi.

Non essendosi rilevati elementi o fenomeni che potessero comportare modifiche all'assetto del dissesto già identificato nel PAI coincidente con il PGRA, non si è proceduto a proporre modifiche al quadro del dissesto.

Pertanto nella carta PAI – PGRA si riportano i fenomeni già presenti nelle cartografie degli strumenti sovraordinati con i grafismi previsti dalla norma.

5. FASE DI PROPOSTA

5.1. Carta dei Vincoli (Tavola G3)

La carta è rimasta invariata rispetto a quella redatta in precedenza con l'aggiunta del vincolo relativo all'orlo di terrazzo come prescritto dal parere della Provincia di Lecco nell'ambito del parere di compatibilità, e con l'esclusione della zona con ristagni di acqua che, seppur comporti l'attribuzione di una elevata pericolosità geologica, non comporta vincoli sovraordinati.

Di seguito si riporta la descrizione degli elementi riportati nella carta facendo riferimento principalmente a quanto scritto nella precedente versione del PGT.

La presenza di vincoli territoriali, indubbiamente derivati da valutazioni di carattere generale sulla peculiarità delle emergenze paesaggistiche e idrogeologiche locali, è un elemento discriminante assoluto della fattibilità geologica delle azioni di piano. In tali aree la conservazione dello stato attuale di uso del suolo e comunque una forte limitazione a qualunque intervento di natura antropica è più che doverosa.

La carta dei vincoli (Tavola G3) 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.

Reticolo Idrico Minore

Si sono riportate, così come definite e perimetrare nel reticolo minore, le fasce di rispetto dei corsi d'acqua e le zone con problematiche idrauliche; tra queste ultime la zona 2 è stata estrapolata in quanto il rischio di esondazione è stato valutato e perimetrato con le aree di esondazione a rischio elevato del PAI (Ee).

Gli elementi del reticolo minore pertanto sono stati riportati con la seguente suddivisione coerente con quella definita nello studio del reticolo idrico minore:

- Fasce di rispetto idraulico
 - fasce di 10 m - fascia A
 - fasce di 4 m - fascia B
 - fasce di 4 m nei tratti intubati - fascia C
- Zone con problematiche idrogeologiche
 - Zone con risorgenza idrica delle acque e presenza di numerosi canali coalescenti - zona 1
 - Zone caratterizzate da presenza di canali agricoli – zona 3

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.

Elementi di rilevanza geomorfologica

Nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Lecco (PTCP) per il territorio comunale di Barzago 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 3b riportata al capitolo 6.1.

Dissesti PAI

E' stata riportata l'individuazione di:

- area in frana attiva (Fa), zona ove è presente un franamento diffuso attivo lungo il pendio a monte della strada di Via Santuario – Via Canova. In questa area si applicano le norme della sottoclasse 4b riportate al cap. n. 6.2;
- aree a pericolosità molto elevata per esondazioni (Ee), presenti la maggiore attorno al T. Bevera e due di ridotte dimensioni lungo la Roggia Lambro del Molinello. In queste aree si applicano le norme della sottoclasse 4a riportate al cap. n. 6.2.

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

La carta della fattibilità geologica è stata redatta sull'intero territorio comunale alla scala 1: 2.000 utilizzando come base topografica l'aerofotogrammetrico comunale (Tavola G4) e in scala 1:5.000 (Tavola G5) utilizzando la carta tecnica regionale come base tipografica.

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

La carta è stata derivata dalla precedente aggiornandola con i nuovi elementi del dissesto rilevati e descritti nella Carta di Sintesi (vedi cap. n. 4.1) in particolare inserendo gli orli morfologici e le rispettive fasce di rispetto (come prescritto dalla Provincia di Lecco), inoltre le classi di fattibilità sono state ulteriormente suddivise in sottoclassi al fine di permettere una identificazione più immediata delle pericolosità e criticità rilevate.

Scopo degli elaborati è quello di fornire una visione chiara ed immediata del territorio in rapporto al contesto ambientale e di fornire delle indicazioni generali sulla destinazione d'uso. In quest'ottica il territorio comunale è stato suddiviso in quattro classi di fattibilità aventi un grado di limitazione crescente come previsto dalla norma regionale.

Seguendo le indicazioni della norma regionale, la valutazione incrociata degli elementi emersi dagli studi tematici, con i fattori ambientali ed antropici propri del territorio comunale, ha consentito di sviluppare il processo diagnostico che permette di azionare il territorio in classi di fattibilità geologica. *Scopo dell'elaborato è quello di fornire una visione chiara ed immediata del territorio in rapporto al contesto ambientale e di fornire delle indicazioni generali sulla destinazione d'uso.* I risultati vengono rappresentati sulla carta della fattibilità geologica per le azioni di piano, che descrive le problematiche e le eventuali limitazioni alla fattibilità geologica delle azioni di piano.

La classificazione adottata fornisce indicazioni in ordine alla destinazione d'uso, alle cautele generali da adottare per gli interventi, agli studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti del caso. Rimane infatti fondamentale la realizzazione di studi di dettaglio all'atto della progettazione esecutiva degli interventi, dimensionati alla scala delle opere di progetto (secondo quanto previsto dal D.M. 14/01/2018), in quanto le osservazioni ed i dati derivabili dalla zonazione geologica non li sostituiscono in alcun modo e inoltre bisogna tenere in considerazione il rispetto dei vincoli ambientali. I criteri regionali individuano quattro classi di fattibilità, a seconda della idoneità geologica delle particelle di terreno a sopportare eventuali trasformazioni d'uso. Nella zonizzazione del territorio è stato adottato il criterio di tracciare i limiti delle differenti classi, seguendo la logica di individuare passaggi graduali tra le diverse classi.

La carta di fattibilità viene desunta principalmente dalla carta di sintesi considerando anche quanto presente dalla carta dei vincoli attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono definito nelle cartografie di base citate. La carta di fattibilità è dunque una carta di pericolosità che fornisce le indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio, alle prescrizioni per gli interventi urbanistici, agli studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, alle opere di mitigazione del rischio ed alle necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali.

Nella carta di fattibilità geologica sono pertanto riportate le classi e sottoclassi di fattibilità geologica, e sovrapposte con un retino le risultanze delle analisi sismiche. 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

Di seguito si riportano le norme di natura geologica e sismica da applicare in funzione delle classi di fattibilità geologica e sismica definite e riportate nella carta di fattibilità geologica (Tavola G4 e G5).

Le norme di seguito riportate riprendono in parte quanto già definito nella precedente componente geologica di Piano integrate per le parti aggiornate.

6.1. CLASSE 3 (arancione) - Fattibilità con consistenti limitazioni

Questa classe comprende quelle aree che presentano consistenti limitazioni alla modificazione delle destinazioni d'uso dei terreni. In tale contesto, preventivamente alla progettazione urbanistica devono intervenire supplementi di indagine di carattere geologico-tecnico, campagne geognostiche, prove in situ e/o di laboratorio, volte in particolare a verificare la stabilità dei pendii interessati dagli interventi e alla definizione dei sistemi di controllo e drenaggio delle acque superficiali. Tali dati dovranno essere valutati ai fini di precisare le idonee destinazioni d'uso dei terreni, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più opportune, nonché le opere di sistemazione e di bonifica. Per gli eventuali edifici già esistenti entro queste aree dovranno essere date indicazioni per la mitigazione degli effetti negativi indotti dalla presenza dell'edificato. È auspicabile che l'Amministrazione, in funzione dell'eventuale sfruttamento urbanistico di tali porzioni di territorio comunale, metta in essere idonee forme di monitoraggio continuo della dinamica dei fenomeni in atto o indotti a seguito dell'intervento. In questa classe ricade la maggior parte del territorio comunale.

L'uso di queste aree necessita di supplementi di indagine e di studi tematici per definire opere di sistemazione e bonifica. Si valuterà la stabilità dei luoghi, l'insieme struttura/terreno, struttura/roccia, la modifica del regime idraulico superficiale, il drenaggio delle acque e le opere necessarie per la messa in sicurezza dei luoghi.

Tipo di indagini consigliate: Prove penetrometriche dinamiche o statiche, Carotaggi, Prove di permeabilità in sito, Indagine sismica.

Nelle immediate vicinanze delle fasce di rispetto dei torrenti, verifiche idrologiche con calcolo di portata di massima piena e studi di bacino.

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".

All'interno della classe tre sono state inoltre individuate ulteriori due sottoclassi.

Sottoclasse 3a – aree caratterizzate da rischio geologico tecnico legato alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni

Si identificano nel dettaglio le aree caratterizzate da depositi dalle scadenti caratteristiche geotecniche. In questa sottoclasse sarà importante prevedere le opportune e puntuali 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 3b – 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 Barzago si individuano due settori interessati da orli morfologici, uno lungo tutto il frontale NE del centro abitato principale e l'altro nella zona collinare prossima al confine comunale meridionale. Per la descrizione degli elementi e le rispettive perimetrazioni si rimanda a quanto indicato al capitolo 5.1, mentre per una più chiara individuazione si richiama anche la Carta dei Vincoli (Tavola G3).

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.

6.2. CLASSE 4 (Rosso) - Fattibilità con gravi limitazioni

L'elevato rischio comporta gravi limitazioni per la modifica delle destinazioni d'uso, dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, eccezion fatta per quelle opere che saranno tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica 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.

Ogni istanza di intervento su questi terreni dovrà essere accompagnata da idoneo studio geologico ed idraulico per le aree soggette a rischi idraulici che attesti la compatibilità degli interventi entro il contesto generale e che verifichi la possibilità di interventi di sistemazione idonei all'eventuale declassazione della zona interessata. Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito della pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tale fine alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale dovrà essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica e laddove necessario di compatibilità idraulica, che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio geologico

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

In questa classe rientrano le zone dove sono state rilevate dei fenomeni di erosione e dissesti superficiali, gli alvei dei torrenti e le zone alluvionabili.

Si vieta ogni nuova edificazione, eccezion fatta per le opere tese al consolidamento ed alla sistemazione idrogeologica dei siti. Ogni intervento deve essere corredato da idoneo studio geologico e/o di compatibilità idraulica laddove necessario, che attestino la compatibilità degli interventi.

Tipo di indagini consigliate: Prove penetrometriche dinamiche o statiche, Sondaggi a carotaggio continuo, Prove di permeabilità in sito, Posa di tubi inclinometrici in area di frana, Indagine sismica Verifiche idrologiche dei torrenti con calcolo di portata di massima piena, Verifiche di stabilità fronti di scavo, verifiche del trasporto solido lungo i corsi d'acqua interessati dal fenomeno tipo Bebris Flow.

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.

All'interno della classe quattro sono state inoltre individuate 6 sottoclassi, di cui di seguito si riportano le indicazioni sulle pericolosità rilevate e le eventuali ulteriori e specifiche prescrizioni.

Sottoclasse 4a – aree a pericolosità elevata per esondazioni (Ee)

Rientrano in questa sottoclasse le tre aree soggette ad esondazioni a pericolosità molto elevata classificate come Ee nella cartografia del PAI e come P3/H nella cartografia del PGRA.

Di seguito si riportano le norme previste dal PAI relative all'art. 9 comma 5.

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365, nelle aree Ee sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- i cambiamenti delle destinazioni culturali, purché non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;
- gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili e relativi impianti, previo studio di compatibilità

Variante al PGT del comune di Barzago
Aggiornamento "Componente geologica, idrogeologica e sismica"

dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;

- l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue;
- l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo.

Gli interventi ammessi devono essere soggetti in particolare ad uno studio di compatibilità idraulica che definisca la fattibilità e la compatibilità idraulica dell'intervento e le relative opere di difesa / mitigazione del rischio necessarie.

Sottoclasse 4b – aree di frana attiva (Fa)

Rientrano in questa sottoclasse l'area in frana classificate come attive (Fa) nella cartografia del PAI.

Di seguito si riportano le norme previste dal PAI relative all'art. 9 comma 2.

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365, nelle aree Fa sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria degli edifici, così come definiti alla lettera a) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- le opere di bonifica, di sistemazione e di monitoraggio dei movimenti franosi;
- le opere di regimazione delle acque superficiali e sotterranee;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto dello stato di dissesto in essere.

Gli interventi ammessi devono essere soggetti in particolare ad uno studio che definisca la stabilità degli interventi in riferimento al dissesto presente.

Sottoclasse 4c – aree con ristagni d’acqua

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

Sottoclasse 4d – aree di pertinenza idraulica – Reticolo Idrico Minore

Si individuano le aree dei 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 4e – aree caratterizzate da risorgenza idrica delle acque e presenza di numerosi canali coalescenti

Si individuano le aree in cui nello studio del reticolo idrico minore sono state individuate problematiche legate alla presenza di acqua.

Anche le aree ricadenti in questa sottoclasse come per la sottoclasse 4d 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 4f – aree di 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.

6.3. 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 5.

Tabella 5: sintesi degli scenari sismici e delle relative prescrizioni

SCENARIO		ATTIVITÀ IN FASE DI PROGETTAZIONE
Sigla	Descrizione	
Z3	Amplificazioni topografiche	Utilizzo classe topografica T2 - T3
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 E
Z4 e strutture alte e flessibili (T=0,5 – 1,5 s)	Amplificazioni litologiche	Utilizzo della classe di suolo derivante dalle indagini

Dall'analisi di secondo livello 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 solo per la classe di suolo E (oppure D).

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 figura di pag. 9, ferma restando la possibilità del Progettista di eseguire specifici approfondimenti e valutazioni, si individuano i seguenti casi.

Novembre 2024

ALLEGATO 1

**Descrizione metodologia esecuzione indagini geofisiche
a supporto delle analisi sismiche di secondo livello**

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.

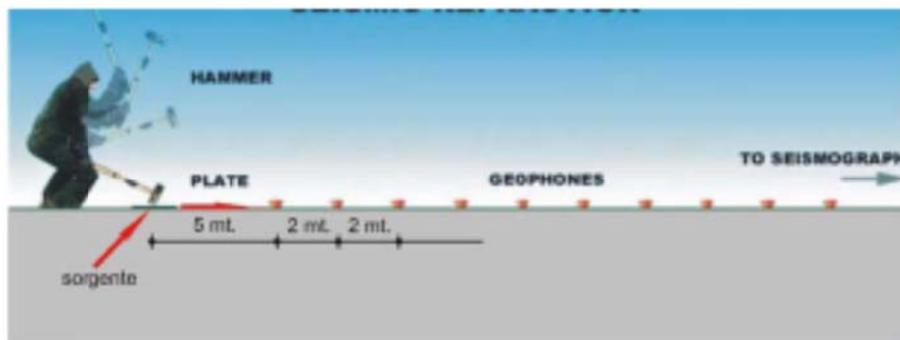
L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è ottenuta impiegando un'apposita mazza dal peso di 9 Kg, la quale viene fatta collidere col suolo generando così onde elastiche. Si prevedono più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione 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 rifrattore (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 Vs – 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):

$$\mathbf{SR(f) = HS(f) / HR(f)}$$

(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:

$$\mathbf{AS(f) = VS(f) / VB(f)}$$

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

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

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:

$$\mathbf{HVSR(f) = HS(f) / VS(f)}$$

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.

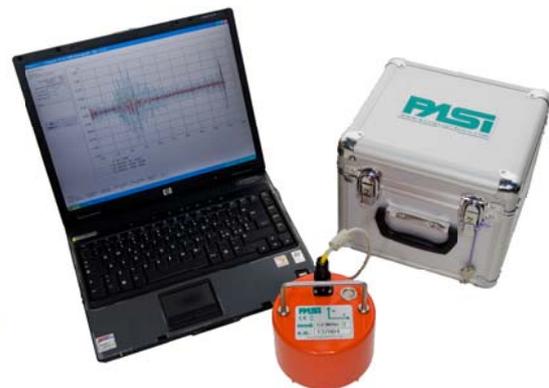
Lo strumento consiste in un unico contenitore *waterproof* al cui interno è integrata una terna di geofoni e un acquirente hardware da 24 bit. Le masse oscillanti presentano una frequenza di risonanza di 2Hz sono accuratamente accoppiate meccanicamente ed elettricamente.

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: $2 \text{ V/cm}\cdot\text{S}^{-1} \pm 5\%$
Resistenza interna: $5.8\text{k}\Omega \pm 5\%$
Damping: $0.7 \pm 10\%$
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



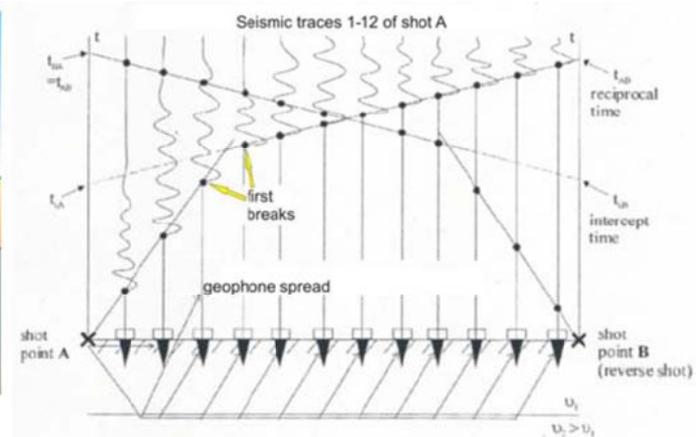
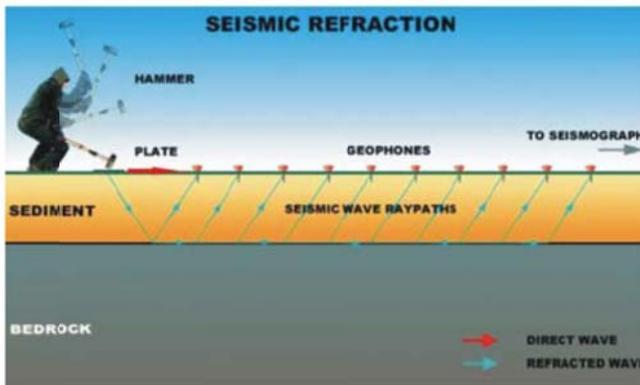
CERTIFICATO DELL'INDAGINE GEOFISICA CON LA TECNICA DELLA TOMOGRAFIA A RIFRAZIONE

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
a supporto delle analisi sismiche di secondo livello**

INDAGINE SITO A

Ubicazione indagine
Via Santuario Inferiore – Barzago
525.902 - 5.066.784 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= 4 m

Energizzazione= mazza da 9 kg

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

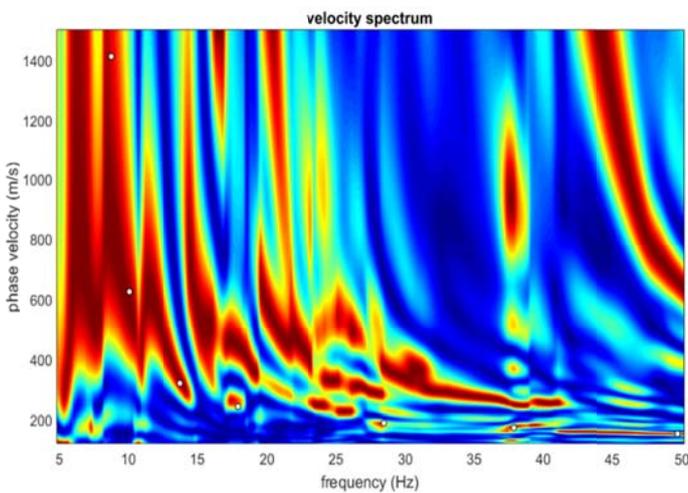
Tempo campionamento= 0,128 (Tomo) – 2 (MASW) ms

Filtri= nn

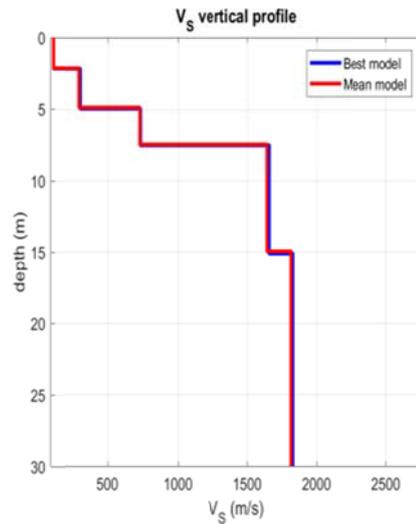
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW A

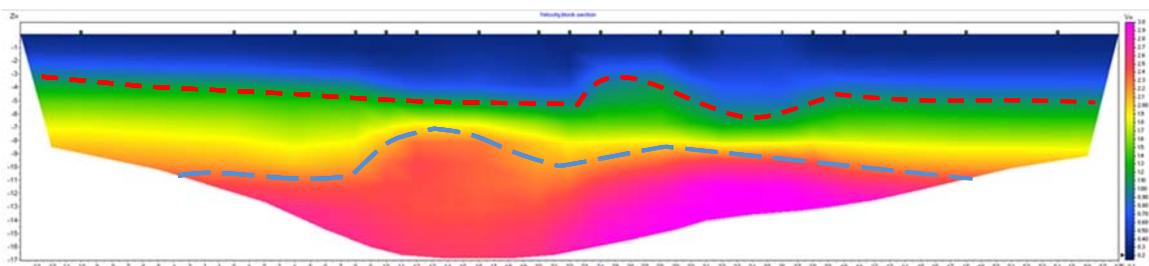
Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il *picking*



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

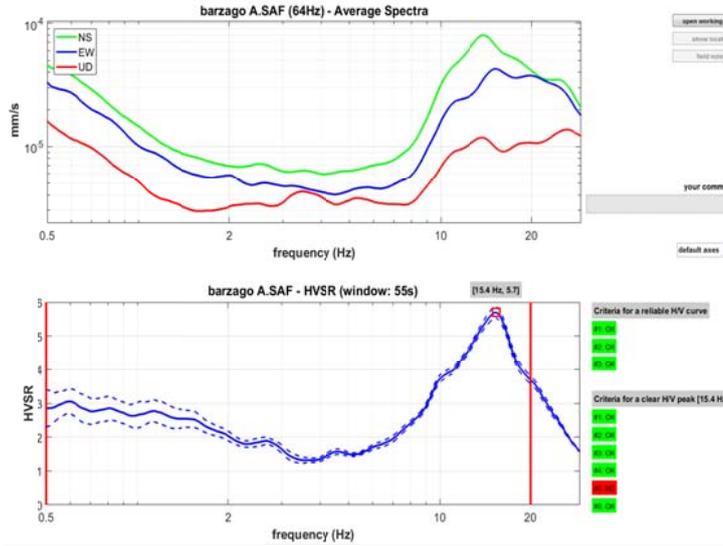


TOMOGRAFIA SISMICA A

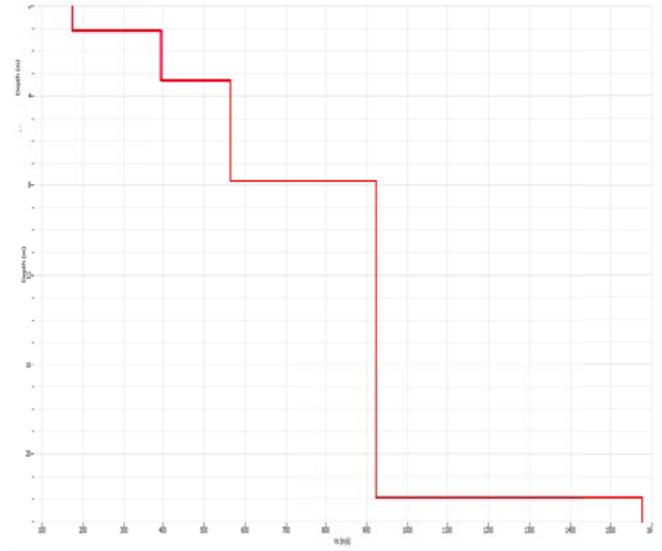


HVSR A

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



MODELLO SISMICO SITO A

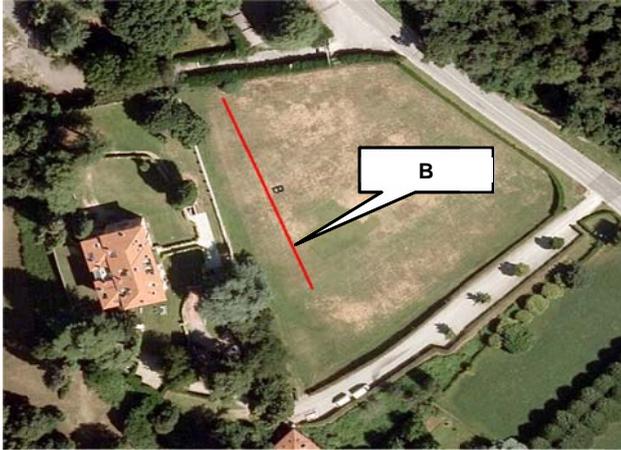
Livello	Profondità (m)	Spessore (m)	Litologia (grado medio conoscenza)	V _s (m/s)	V _p (m/s)
1	2	2	Terreno rimaneggiato (campo da calcio)	101	300
2	5	3	Argille	306	700
3	7,6	2,6	Limi grigi compatti	734	1850
4			Ghiaie con alternanze di livelli argillosi compatti	> 800	> 2300

INDAGINE SITO B

Ubicazione indagine

Via Como – Barzago

523.753 - 5.067.433 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)

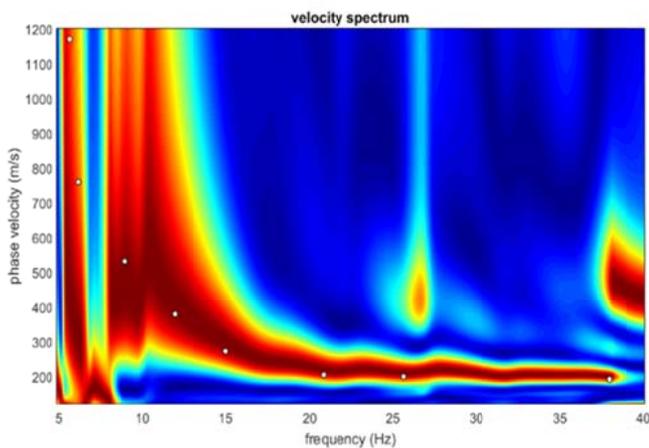
Tempo campionamento=0,128 ms (Tomo) –2 ms (MASW)

Filtri= nn

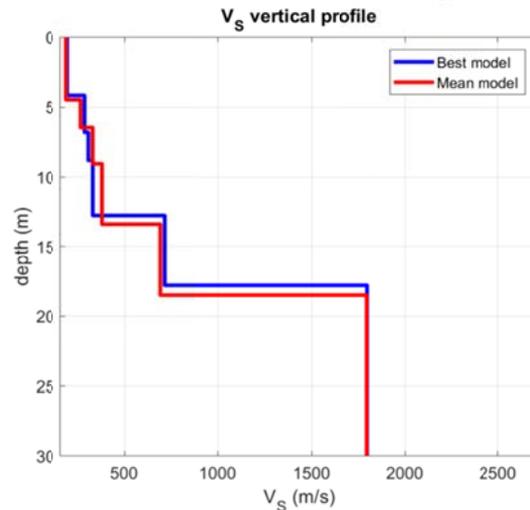
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW B

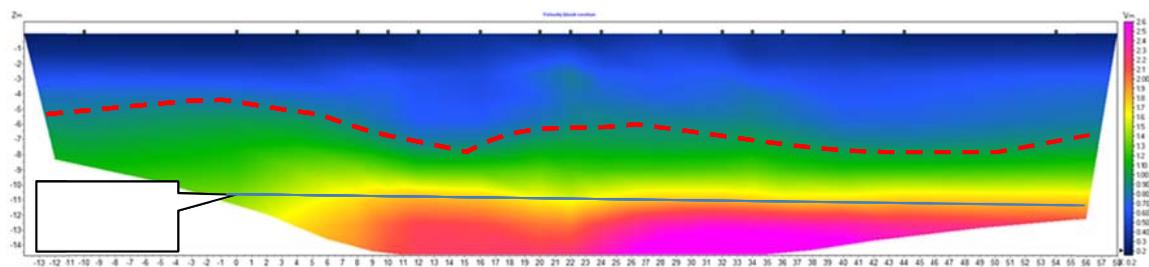
Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking



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

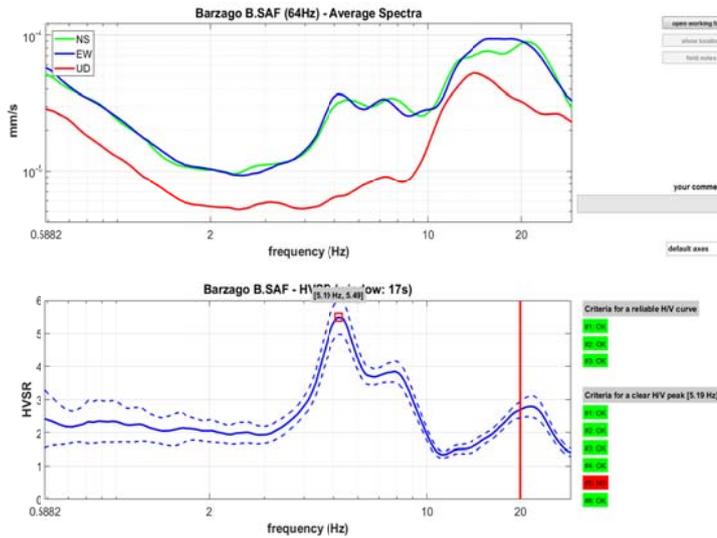


TOMOGRAFIA SISMICA B

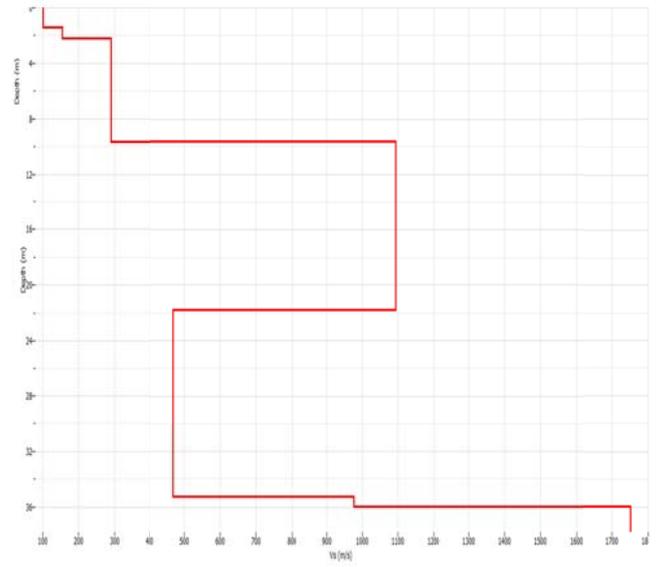


HVSR B

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



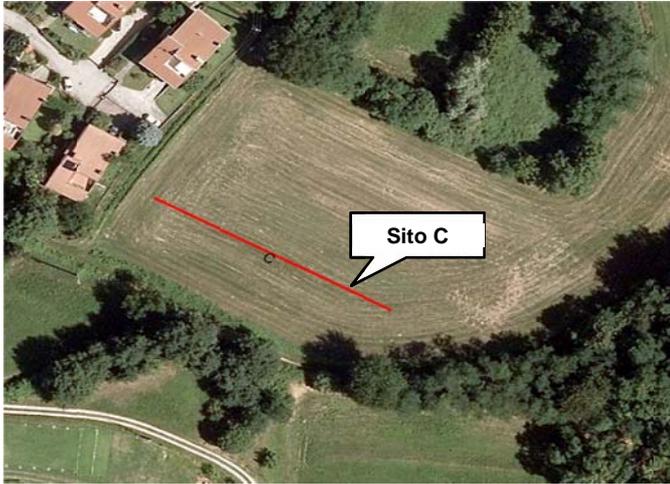
MODELLO SIMISCO SITO B

Livello	Profondità (m)	Spessore (m)	Litologia (grado medio basso conoscenza)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
1	4,2	4,2	Limi sabbiosi	194	300
2	6,8	2,6	Sabbie limose ghiaiose	286	700
3	8,8	2	Ghiaie sabbiose limose	307	1000
3	12,8	4	Ghiaie sabbiose	331	1200
3	17,8	5	Ghiaie con blocchi	715	2400
4	22,8		Ghiaie con alternanze di livelli argillosi compatti	> 800	

INDAGINE SITO C

Ubicazione indagine

Via Cavour – Barzago
525.127 - 5.066.067 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)

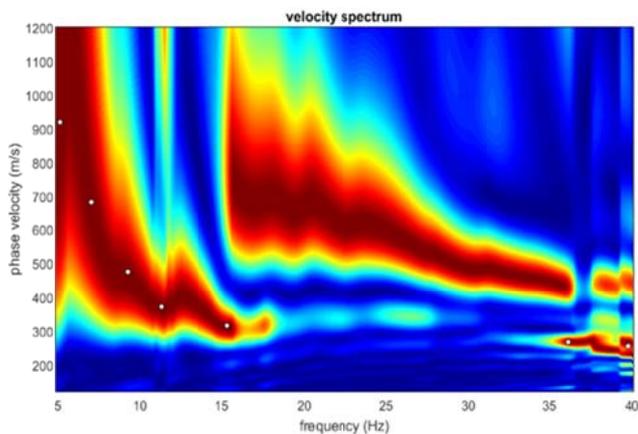
Tempo campionamento= 0,128 ms (Tomo) – 2 ms (MASW)

Filtri= nn

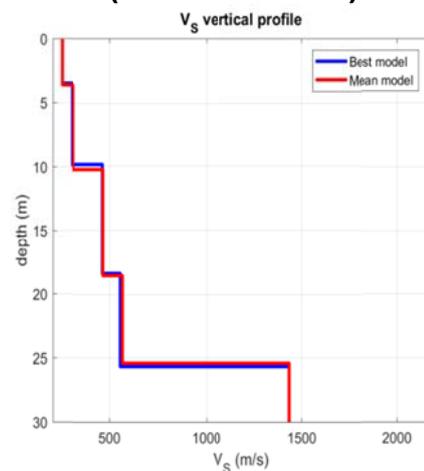
Data acquisizione= Aprile 2023

MASW C

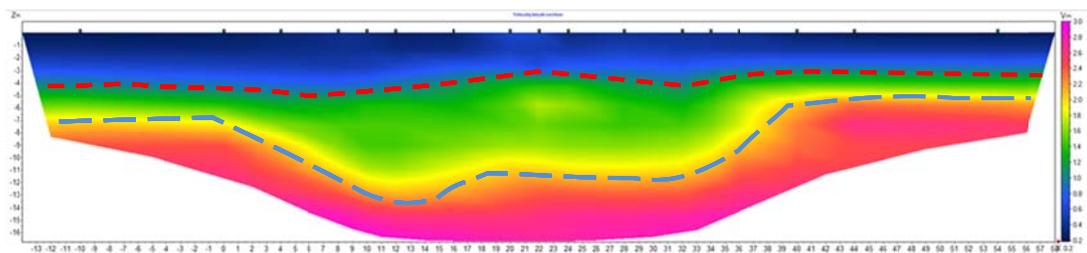
Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking



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

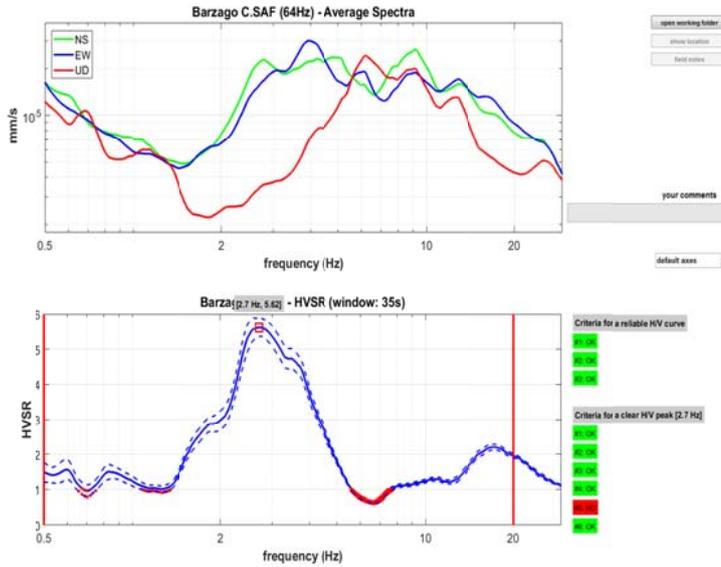


TOMOGRAFIA SISMICA C

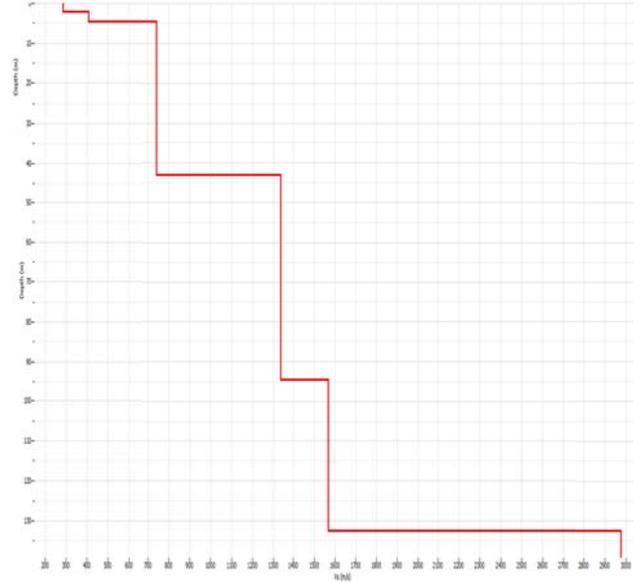


HVSR C

Grafico dello spettro H/V



Andamento della velocità delle onde di taglio



MODELLO SISMICO SITO C

Livello	Profondità(m)	Spessore(m)	Litologia (grado medio alto conoscenza)	Vs (m/s)
1	3,5	3,5	Limi argillosi	250
2	10	6,5	Limi argillosi ghiaiosi	302
3	18,5	8,5	Ghiaie con blocchi in matrice argillosa	461
4	25,9	7,4	Blocchi con ghiaia	554
5	>26		Roccia	> 800

ALLEGATO 3

**Indagini fornite dal Comune
a supporto delle analisi sismiche di secondo livello**

INDAGINE SITO E

Ubicazione indagine

Cimitero comunale – Barzago
524.726 - 5.067.160 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)

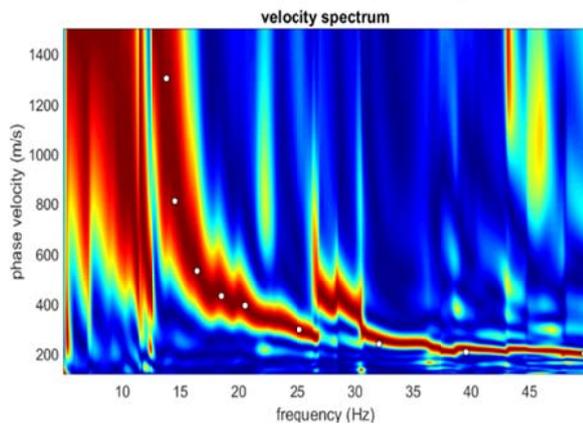
Filtri= nn

Data acquisizione= 2021

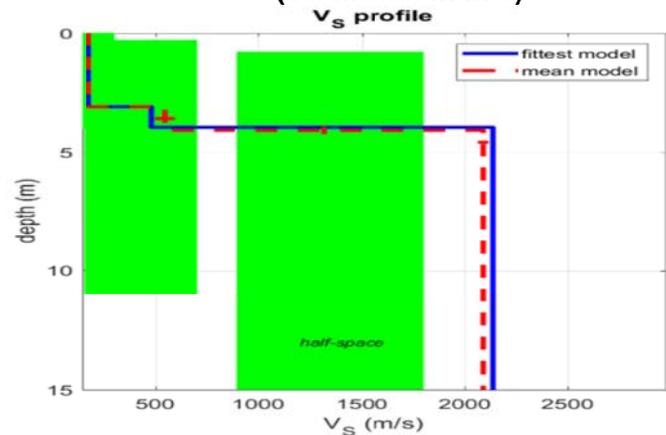
Fonte: Studio geologico Tecno Geo

MASW E

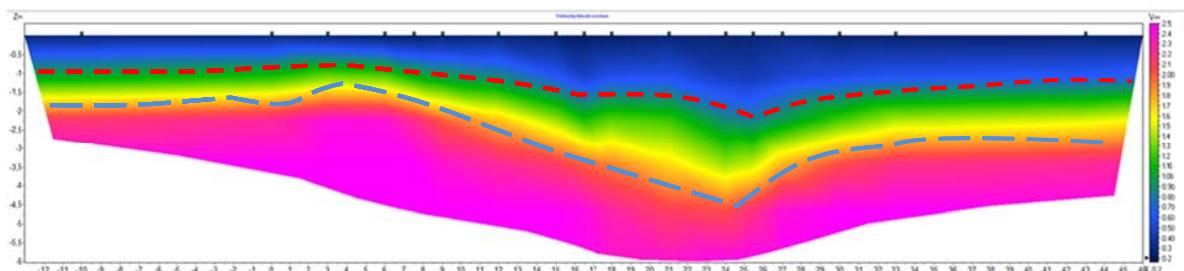
Curva di dispersione calcolata e spettro delle velocità con il picking



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



TOMOGRAFIA SISMICA E



INDAGINE SITO F

Ubicazione indagine

Via Roma – Barzago
 524.233 - 5.067.104 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)

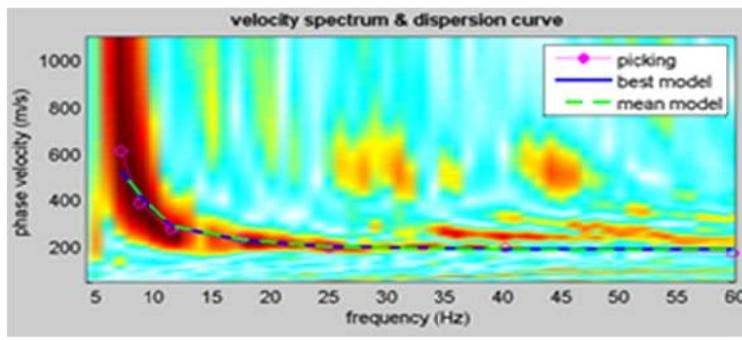


DATI DELL'ACQUISIZIONE

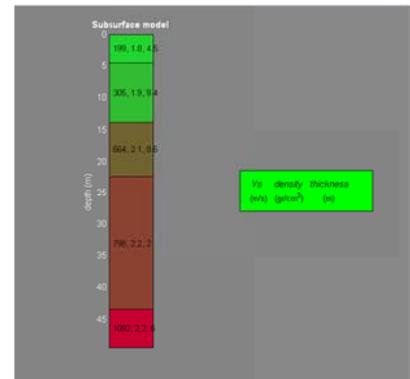
Acquisitore= sismografo multi-canale PASI 16SG24 a 24 canali
 Numero geofoni= 12-verticali
 Frequenza geofoni= 4,5 Hz
 Distanza intergeofonica= 3 m
 Energizzazione= mazza da 9 kg
 Durata acquisizioni= 0,5 s (Tomo) – 2 s (MASW)
 Tempo campionamento=0,128 ms (Tomo)–2 ms (MASW)
 Filtri= nn
 Data acquisizione= 2015
 Fonte: Studio geologico Tecno Geo

MASW F

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



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



MODELLO SISMICO SITO F

Livello	Profondità (m)	Spessore (m)	Litologia (grado medio alto conoscenza)	Vs (m/s)
1	4	4	Sabbie argillose ghiaiose	200
2	12	8	Sabbie ghiaiose con blocchi addensata	305
3	23	11	Ghiaia sabbiosa con blocchi	660
4	43	20	Ghiaia e sabbia cementate	790
5	>43		Bedrock sismico	> 800

INDAGINE SITO D

Ubicazione indagine

Via Milano – Barzago
 524.857 - 5.066.626 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)

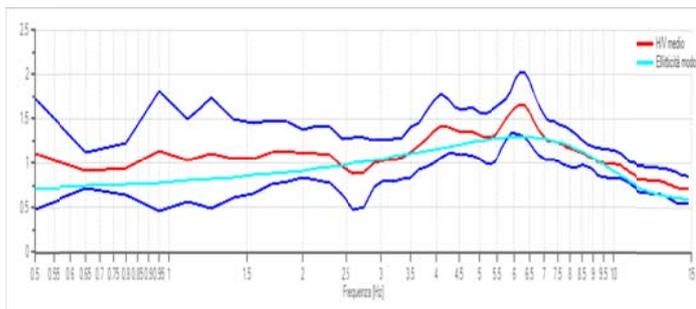


DATI DELL'ACQUISIZIONE

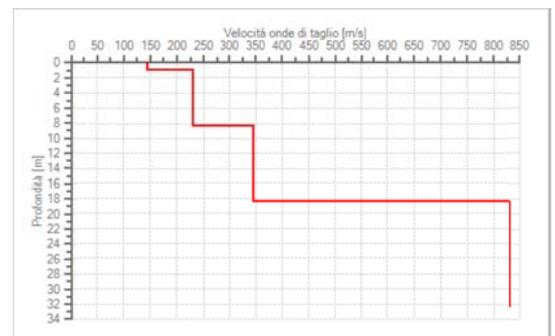
Acquisitore=geofono triassiale GEMINI2 della PASI
Numero geofoni= 3 multidirezionali (X, Y, Z)
Frequenza geofoni= 2Hz
Distanza intergeofonica=/
Energizzazione= onde naturalmente generate
Durata acquisizioni= 15 min (HVSr)
Tempo campionamento=0,05s (HVSr)
Filtri= nn
Data acquisizione= 2020
Fonte= Dr Geologo Samuele Azzani

HVSR D

Grafico dello spettro H/V



Andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità



MODELLO SISMICO SITO D

Livello	Profondità (m)	Spessore (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
1	0	1,02	145
2	1,02	7,34	230
3	8,36	10,07	345
4	18,43	14	832

ALLEGATO 4

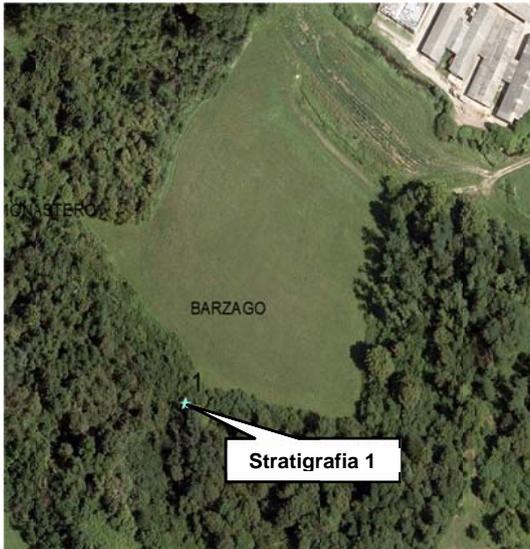
**Stratigrafie pozzi
a supporto delle analisi sismiche di secondo livello**

Fonte: Banca Geologica di Sottosuolo Regione Lombardia

STRATIGRAFIA 1

Ubicazione indagine

Barzago
 525.431 - 5.067.186 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



RISULTATI INDAGINE

COMUNE: BARZAGO IDE: B5D154457198

QUOTA (m s.l.m.): 277 PROFONDITA'(m): 54 NUMERO STRATI: 12

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	6	6	TERRENO DI COLTURA E ARGILLA TORBOSA	ZS A PT
2	6	15	9	LIMO GRIGIO	L
3	15	18	3	GHIAIA COMPATTA	G
4	18	20	2	GHIAIA E ARGILLA COMPATTA	G A
5	20	25	5	TROVANTI O MASSI LEGATI CON ARGILLA	GB A
6	25	34	9	ARGILLA E GHIAIA COMPATTA	A G
7	34	36	2	ARGILLA	A
8	36	39	3	GHIAIA E SABBIA	G S
9	39	43	4	ARGILLA	A
10	43	48	5	GHIAIA E SABBIA	G S
11	48	50,5	2,5	MARNA ALTERATA	BM
12	50,5	54	3,5	MARNA COMPATTA	BM

STRATIGRAFIA 2

Ubicazione indagine

Via Santuario Inferiore – Barzago
 525.803 - 5.066.912 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)



RISULTATI INDAGINE

COMUNE: BARZAGO IDE: B5D158356922

QUOTA (m s.l.m.): 277 PROFONDITA'(m): 50 NUMERO STRATI: 11

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	10	10	TERRENO VEGETALE ARGILLA BLU	ZS A
2	10	14	4	LIMO CON GHIAIA MARRONE	L G
3	14	16	2	GHIAIA SCIOLTA	G
4	16	21	5	ARGILLA E GHIAIA E TROVANTI	A G GB
5	21	25	4	ARGILLA LIMOSA CON GHIAIA E TROVANTI	A L G GB
6	25	34	9	ARGILLA GRIGIA	A
7	34	39	5	ARGILLA E GHIAIA	A G
8	39	40	1	GHIAIA SPORCA	G
9	40	47	7	ARGILLA CON GHIAIA	A G
10	47	49,5	2,5	GHIAIA CON ARGILLA	G A
11	49,5	50	0,5	MARNA	BM

STRATIGRAFIA 3

Ubicazione indagine

Via Don G. Dell'Acqua- Barzago
524.833 - 5.065.849 m (WGS 1984 UTM Zone 32N)

RISULTATI INDAGINE



COMUNE: BARZAGO IDE: B5D148895868

QUOTA (m s.l.m.): 383 PROFONDITA'(m): 21 NUMERO STRATI: 6

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	3	3	ARGILLA E LIMI	A L
2	3	4	1	TERRENO VEGETALE CON CIOTTOLI E ARGILLI E LIMI	ZS GC A L
3	4	12	8	CIOTTOLI CON ARGILLE E LIMI CON GHIAIA	GC A L G
4	12	17,5	5,5	CIOTTOLI CON TRACCE DI ARGILLA LIMI E BLOCCHI	GC A L GB
5	17,5	20	2,5	BLOCCHI	GB
6	20	21	1	ROCCHE CARBONATICHE	EZ