



STUDIO GEOLOGICO DEPOLI DOTT CLAUDIO
Via Villatico 11 23823 Colico (LC) • 0341 - 933011 • info@studiodepoli.com

LOC. PROGRAMMA EDILIZIO

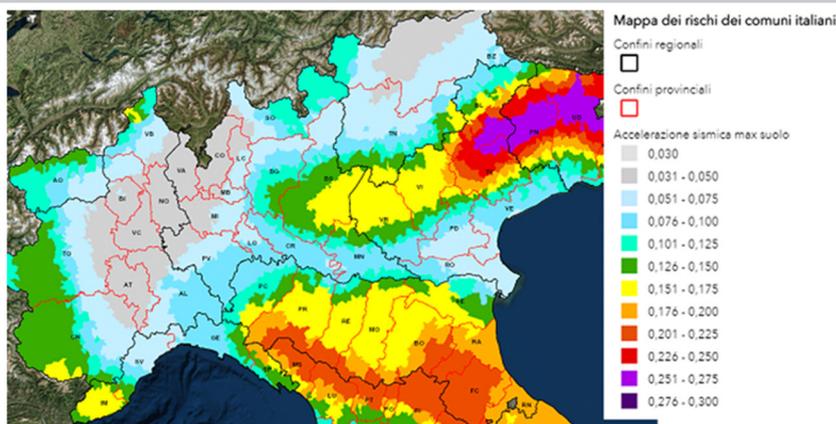
COMUNE DI COLICO (LC)

COMMITTENTE LAVORI

SEVAL ELETTRICA S.R.L

TITOLO PROGETTO

**REALIZZAZIONE IMPIANTO DI MONTAGGIO
E TESTING STRUTTURE IN CARPENTERIA
METALLICA PER LINEE ELETTRICHE**



RELAZIONE SISMICA

D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 e NTC 2018

DATA: Giugno 2022

Il tecnico: Depoli dott Claudio

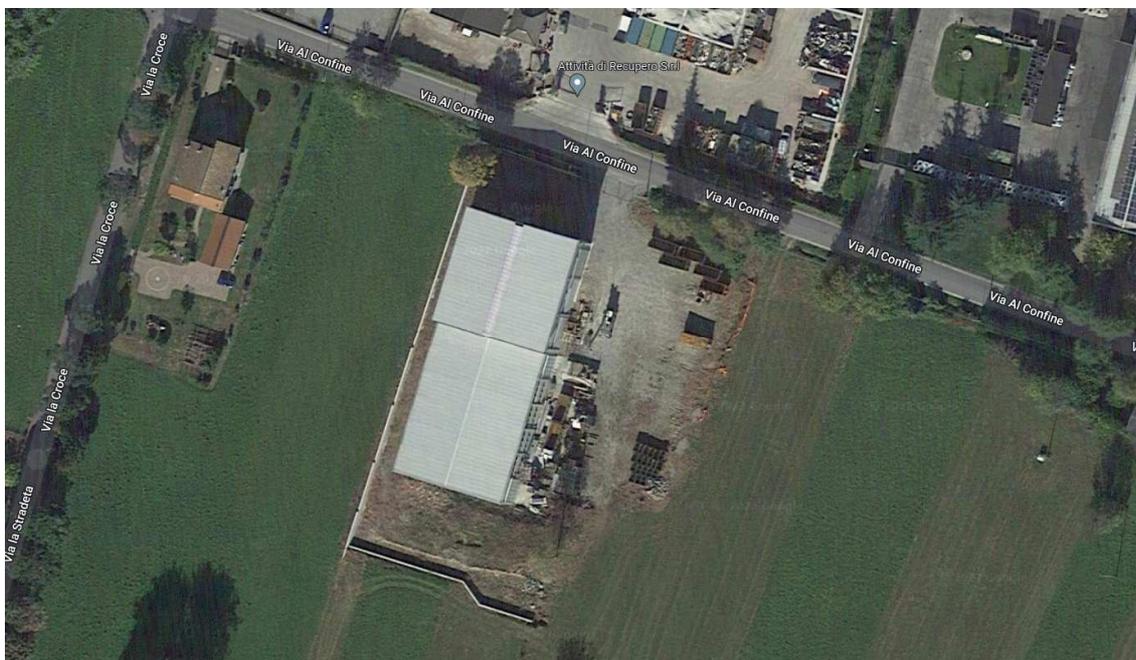
SOMMARIO

1	COMMENTO	2
1.1	Generalità	3
2	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA IN OGGETTO	4
2.1.1	Analisi di 1° livello	5
2.2	Generalità	5
2.3	Periodo di ritorno TR	6
2.4	Categorie di sottosuolo.....	7
2.5	Categorie topografiche	7
2.6	Definizione dei parametri sismici per l'area in oggetto.....	8
2.7	Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o hvsr.....	9
2.8	Cenni Teorici.....	10
2.9	Strumentazione impiegata	11
2.9.1	Fase operativa	11
	Acquisizione ed interpretazione prove eseguite.....	13
2.10	Inversione prova HVSR	16
2.10.1	Parametri sismici di base per l'area in oggetto (NTC 2018) (programma Geostru PS).....	19
3	LIQUEFAZIONE	21

1 COMMENTO

Il presente documento rappresenta, oltre al rispetto del DPR 380/2001 ed alla L.R 33/2015, anche il necessario allegato al “Deposito del progetto sismico” di cui alla recente D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 unitamente alla relazione geologica e geotecnica.

Quale supporto specialistico, la presente relazione viene redatta con lo scopo di definire il modello sismico locale dell’area d’intervento per i lavori di **“REALIZZAZIONE IMPIANTO DI MONTAGGIO E TESTING STRUTTURE IN CARPENTERIA METALLICA PER LINEE ELETTRICHE”** su incarico della Società SEVAL ELETTRICA S.r.l. In particolare la proposta edilizia verrà realizzata in via al Confine al mappale 22998 FOGLIO 6 .



A seguito dell’entrata in vigore della normativa tecnica “D.g.r. 10 ottobre 2014 - n. X/2489 e D.g.r. 8 ottobre 2015 - n. X/4144 Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica” dispone. “che nelle more dell’entrata in vigore della nuova classificazione sismica, nei Comuni che saranno riclassificati dalla Zona 4 alla Zona 3 e dalla Zona 3 alla Zona 2, tutti i progetti delle strutture riguardanti nuove costruzioni – pubbliche e private – siano redatti in linea con le norme tecniche vigenti, rispettivamente, nelle Zone 3 e 2”.

Gli elementi di natura geologica sono già stati ampiamente trattati nella relazione geologica e vengono confermati nel presente elaborato ed allegati all’elaborato di DEPOSITO SISMICO.

Il riferimento geognostico locale è stato attuato mediante l’acquisizione e l’analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali (metodo sismico passivo).

Sintesi di analisi sismica attuata

In particolare si è proceduto a definire la sismicità dell'area con le seguenti finalità:

- illustrare la sismicità dell'area sulla base della classificazione sismica nazionale ai sensi dell'OPCM n.3274 del 20 marzo 2003 come recepita dalla D.g.r. n.14964 del 7 novembre 2003;
- definire il modello sismico del sottosuolo ovvero la categoria del suolo di fondazione attraverso i profili di velocità delle onde di taglio vs ottenuti con le prove geofisiche in sito secondo quanto specificato al paragrafo 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- valutare la pericolosità sismica locale mediante l'individuazione dell'accelerazione orizzontale massima del terreno a_{max} (ai sensi delle NTC/2008)
- definire il fattore di amplificazione F_a del sito (come della D.g.r. n.IX/2616 del 30.11.2011) per migliore definizione sismica locale;
- stimare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione.

1.1 Generalità

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle normative nazionali ovvero dall'OPCM n°3274/2003 che è entrata in vigore dal 25 ottobre 2005, data coincidente con la pubblicazione della prima stesura delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) e dalla successiva OPCM n°3519/2006.

La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sismico sulla base della Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi. In relazione alla pericolosità sismica, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità (elenco sottostante) in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo ag_{475} , ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

Zona 1 $ag_{475} \geq 0.25g$

Zona 2 $0.25 < ag_{475} \leq 0.15g$

Zona 3 $0.15 < ag_{475} \leq 0.05g$

Zona 4 $ag_{475} < 0.05g$ (comune di Colico)

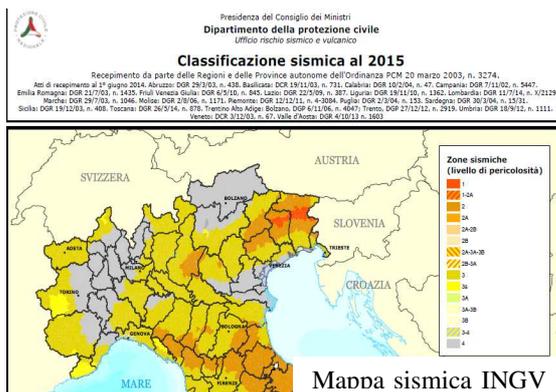
L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di ag_{475} con una tolleranza 0.025g. Come si evince dall'elenco a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti le nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e le recenti NTC 2018 in vigore dal 2 marzo 2018 hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA IN OGGETTO

La classificazione sismica del territorio italiano è stata definita con l'ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sul supplemento ordinario 72 alla Gazzetta Ufficiale n°105 del 8 maggio 2003, con la quale sono stati approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone (allegato 1) e le connesse norme tecniche (allegati 2, 3, 4)".

Si riporta un estratto della mappa della classificazione sismica del territorio italiano definita a seguito del recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza sopracitata. Nel caso della Regione Lombardia tale Ordinanza è stata recepita con d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003, che sostituisce quella di cui al D.M. 5 marzo 1984, e successivamente riconfermata con la DGR 28 maggio 2008 n. 8/7374.



Il territorio di Colico (LC) è stata classificato come zona 4, ovvero caratterizzato da un livello di pericolosità sismica molto bassa, caratterizzato da valore massimo (o picco) di accelerazione del suolo attesa a_g (o a_{max}) $< 0,05 g$, riconfermato con recente normativa (entrata in vigore il 10 aprile 2016) in classe 4

E' quindi stato attuato il livello di approfondimento sismico di secondo livello come definito dalla vigente normativa regionale

Serie Ordinaria n. 29 - Mercoledì 16 luglio 2014

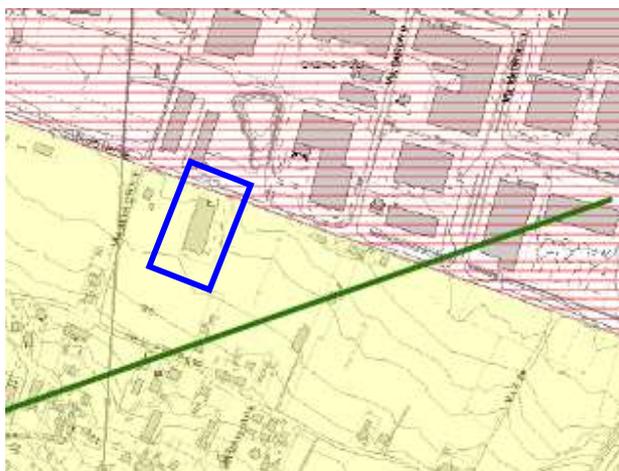
ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03097016	LC	CASATENOVO	3	0,060292
03097017	LC	CASSAGO BRIANZA	3	0,05296
03097018	LC	CASSINA VALSASSINA	3	0,056414
03097019	LC	CASTELLO DI BRIANZA	3	0,057523
03097020	LC	CERNUSCO LOMBARDONE	3	0,0663
03097021	LC	CESANA BRIANZA	3	0,05054
03097022	LC	CIVATE	3	0,052996
03097023	LC	COLICO	4	0,04449

Estratto bollettino ufficiale Regione Lombardia

2.1.1 Analisi di 1° livello

L'analisi di 1° livello consiste in un approccio qualitativo costituendo lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento e nell'assegnazione al sito in esame dello scenario di pericolosità sismica locale mediante la seguente tabella contenuta nell'Allegato 5 alla d.g.r. n.8/7374 del 28 maggio 2008.

Nel comune di Colico vige lo studio geologico del vigente PGT: dal punto di vista sismico si utilizzerà come riferimento la carta sismica contenuta nella documentazione specialistica. Il sito in oggetto si inseriva in una zona caratterizzata dalla presenza di depositi di conoide ascrivibili alla classe di pericolosità Z4b i cui effetti dell'azione sismica sono riconducibili a depositi alluvionali di conoide / detritici.



EFFETTI DI AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

-  Z4a: Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi
-  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 lacustri)
-  Z4d: Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale

2.2 Generalità

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , la normativa definisce le forme spettrali a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

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

Questi parametri sono calcolati a partire dal "reticolo di riferimento" (cfr. Allegato B del DM 14/01/2008) ricostruito, sull'intero territorio italiano, adottando una maglia di circa 10 km di lato ed associando a ciascun nodo la definizione di tali parametri.

Partendo dai valori definiti nei nodi, per ogni punto individuato sul territorio mediante le sue coordinate geografiche (longitudine e latitudine) ed attraverso l'interpolazione, è possibile individuare i parametri di pericolosità sismica per un periodo di ritorno T_R assegnato.

2.3 Periodo di ritorno T_R

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di ritorno assegnato T_R , che, per ciascun tipo di costruzione, si determina in funzione del periodo di riferimento V_R , e della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} a seconda dello stato limite considerato, mediante la relazione:

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

Il periodo di riferimento V_R è funzione della vita nominale V_N e del coefficiente d'uso C_U caratteristici dell'opera:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad \text{Se } V_R \leq 35 \text{ anni si pone comunque } V_R = 35 \text{ anni.}$$

Vita nominale

La normativa definisce che la vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Di seguito si riporta la vita nominale dei diversi tipi di opere specificati nella normativa:

1. Opere provvisorie - opere provvisionali - strutture in fase costruttiva (≤ 10 anni)
2. Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute e importanza normale (≥ 50 anni)
3. Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica (≥ 100 anni)

Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, la normativa suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso, in riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Le quattro classi d'uso individuate dalla normativa sono definite in base al livello di affollamento degli edifici e/o al loro interesse strategico e sono le seguenti:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso dell'opera:

- Classe uso I $C_U = 0.7$
- Classe uso II $C_U = 1.0$
- Classe uso III $C_U = 1.5$
- Classe uso IV $C_U = 2.0$

2.4 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi; tuttavia, in assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. (sia con NTC 2008 che NTC 2018)

La normativa prevede una classificazione in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ (NTC 2018) e $V_s h$ (NTC 2018) di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità.

Nei casi in cui non si disponga di tale parametro, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

Le cinque categorie di sottosuolo di riferimento (confermate anche con le NTC 2018) sono le seguenti:

A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da $V_{s,30}$ ($V_{sh eq}$) superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m

B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ (V_{sh}) compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina – le nuove NTC 2018 consentono il riferimento a N_{sp} solo in casi particolari)

C *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ (V_{sh}) compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)

D *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ (V_{sh}) inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)

E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s,30}$ (V_{sh}) > 800 m/s).

2.5 Categorie topografiche

Nel caso in cui il sito sia caratterizzato da condizioni topografiche complesse la normativa indica la necessità di predisporre analisi di risposta sismica locale, mentre, qualora le configurazioni superficiali siano semplici, si possono adottare le seguenti categorie topografiche, alle quali sono associati dei coefficienti di amplificazione topografica S_T :

- T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ($S_T = 1.0$)
- T2 Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($S_T = 1.2$)
- T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ ($S_T = 1.2$)
- T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ ($S_T = 1.4$).

2.6 Definizione dei parametri sismici per l'area in oggetto

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La valutazione della pericolosità sismica locale è stata definita utilizzando la procedura indicata nelle NTC/2008 e nella successiva Circolare n°617/2009. In tal senso la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s,30}$ (V_{sh}) > 800 m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Le NTC/08 e NtC 2019 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si valutano in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di categoria A (ag) e del corrispondente spettro di risposta elastico. Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una certa probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR. Il periodo di riferimento VR viene determinato come prodotto della vita nominale della costruzione VN e del coefficiente d'uso CU. La vita nominale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il valore del coefficiente d'uso dipende dalla gravità delle perdite dovute al raggiungimento di un determinato stato limite e quindi riguarda "l'importanza" della struttura. La coppia PVR, VR che identifica l'accelerazione massima di riferimento per le azioni si può sintetizzare nel periodo di ritorno TR. Per definire lo spettro elastico in accelerazione oltre ad ag sono necessari altri due parametri: Fo cioè il valore del rapporto tra il massimo dello spettro e ag per quel sito (amplificazione spettrale) e Tc*, che rappresenta il periodo finale del ramo piatto dello spettro.

Le NTC/08 forniscono nell'Allegato B le tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica, con i valori dei tre parametri ag, Fo, Tc*, per 10751 nodi di un reticolo di riferimento, riferiti a 9 valori del tempo di ritorno TR (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni). I punti di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine. Per un qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri ag, Fo, Tc* di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In funzione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni, della tipologia delle opere in progetto, della pericolosità sismica di base del sito, è quindi possibile definire l'azione sismica da considerare nelle verifiche geotecniche del sito in esame per ciascuno degli stati limite considerati.

La valutazione dell'azione sismica viene effettuata a partire dai dati sismici tabulati che caratterizzano il sito in oggetto (a_g = accelerazione orizzontale massima attesa al sito, F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, T_{c^*} = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) oltre al tempo di ritorno dell'azione sismica (T_R).

In base a tali parametri, in funzione della categoria di suolo, della categoria topografica e della tipologia e classe d'uso dell'opera in progetto, si procede con il calcolo dei coefficienti sismici per ciascun stato limite di riferimento:

- a_{max} : accelerazione massima orizzontale attesa al sito in funzione degli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica
- beta: coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito. Nel caso di opere di sostegno o stabilità dei pendii esso è funzione della categoria del sottosuolo e del valore di a_g , mentre nel caso di paratie è funzione dello spostamento massimo ammissibile U_s
- Kh: coefficiente di intensità sismica orizzontale
- Kv: coefficiente di intensità sismica verticale.

2.7 Indagine geofisica mediante tecnica dei rapporti spettrali o hvsr

Nel sito in esame sono state effettuate tre indagini di geofisica che si sono avvalse della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

Tale prospezione sismica si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi) non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a "Stazione Singola" viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde simiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato.

In particolare

$$f = V_s / 4h$$

La frequenza di risonanza del sedimento dipende dallo spessore H del sedimento e dalla velocità "media" (V_s) delle onde S nel sedimento.

Conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità "media" delle Onde S. Viceversa, conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore H dello strato di terreno.

I risultati ottenuti da indagini sismiche HVSR effettuate sono:

- La frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici.
- La velocità media delle onde di taglio Vs calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario comunque, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, etc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- La stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 100 m di profondità. Il principio su cui si basa la tecnica HVSR, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

f_0 (Hz)	h_s (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

E' comunque da sottolineare che questo tipo di indagine non sostituisce una analisi di dettaglio ma ha il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo che in questo caso è stata correlata con la numerosa bibliografia presente nello Studio Depoli. Di seguito si riporta una tabella reperita in bibliografia che mette in relazione le frequenze caratteristiche di sito con la possibilità profondità del primo rifrattore

2.8 Cenni Teorici

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici durante un evento sismico. Infatti, mentre le onde di compressione (P) agiscono sulle sovrastrutture in direzione prevalentemente verticale (moto sussultorio), le onde S sollecitano le stesse con forze di taglio lungo il piano orizzontale (moto ondulatorio), dove gli elementi strutturali sono più vulnerabili. Nelle analisi di pericolosità sismica è quindi fondamentale esaminare in dettaglio in che modo le onde S si propagano. E' infatti ampiamente dimostrato che questo tipo di oscillazione durante il percorso verso la superficie può subire un'azione di filtraggio che tende a ridistribuire l'energia associata al treno d'onda, concentrandola in determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione dei terreni attraversati. L'effetto finale è quello di amplificare le onde S che andranno a sollecitare l'opera. Questo fenomeno può essere dovuto sia a particolarità topografiche del sito (amplificazione topografica), come valli sepolte o zone di cresta o di versante in pendii naturali o artificiali, sia a variazioni brusche nelle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati lungo la verticale (amplificazione stratigrafica).

Il D.M. 14.01.2008 (ex DM 14/09/2005) propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, il metodo di Borchardt (1994) basato sulla stima del parametro Vs30. Per Vs30 s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

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

NTC 2018

con:
 h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazio
non inferiore a 800 m/s.

Come già riportato in relazione sulla base del valore calcolato di V_{S30} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico.

2.9 Strumentazione impiegata

Hardware

E' stato utilizzato un GEOFONO 3D DA SUPERFICIE CON INTERFACCIA USB MOD. GEMINI-2 dove in un unico strumento sono integrati una terna di geofoni a bassa frequenza da 2Hz accuratamente accoppiati con elevate caratteristiche e dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit).

La livellazione micrometrica dello strumento e stata assicurata per ogni misura tramite bolla di precisione agendo sui tre punti di appoggio (punte) ed orientando uno dei 3 sensori di acquisizione (ortogonali tra loro) verso il N magnetico.

Software

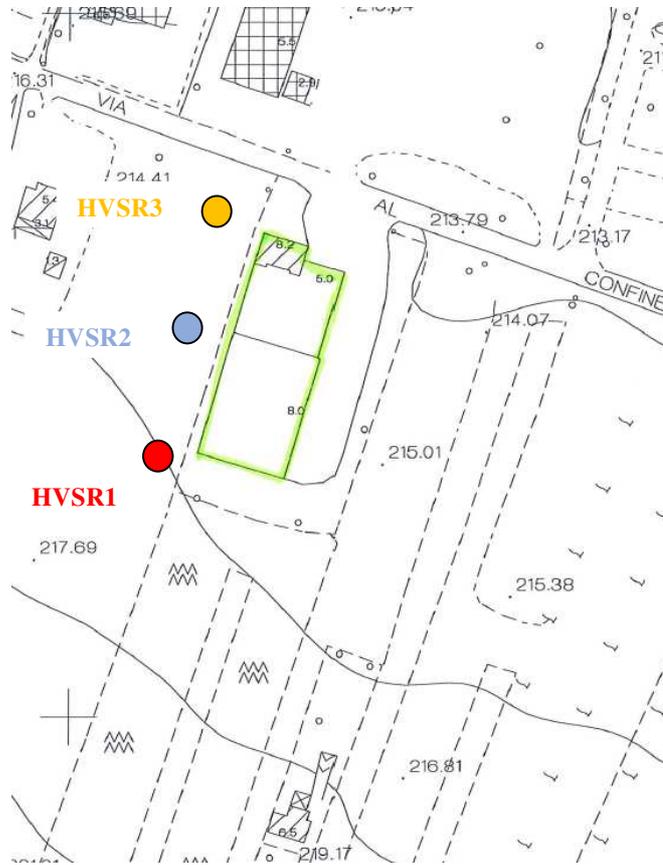
Per le analisi dei dati acquisiti si è adottati il software Open Source Geopsy conforme alle direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME (2005).

2.9.1 Fase operativa

Si sono eseguite poi le seguenti operazioni:

- La misura di rumore sismico nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 20 minuti eseguita con una frequenza di campionamento a 2ms - 500 Hz.
- Per ogni segmento è stata eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
- Per ciascun segmento si è calcolati i rapporti spettrali fra le sue componenti del moto sui piani orizzontale e verticale
- Vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti

* Copia conforme all'originale * Comune di Colico Prot. n. 0016419 del 25-08-2023 arrivo Cat. 6 Cl. 3



Acquisizione ed interpretazione prove eseguite

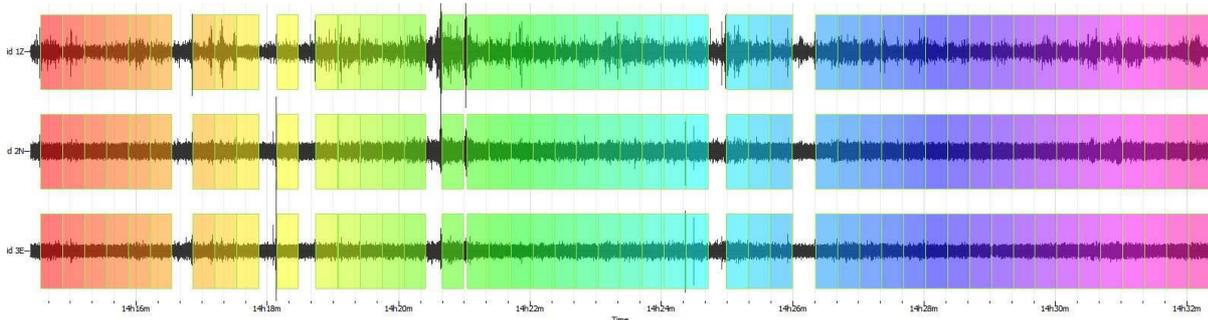
HVSR1 DATI GENERALI



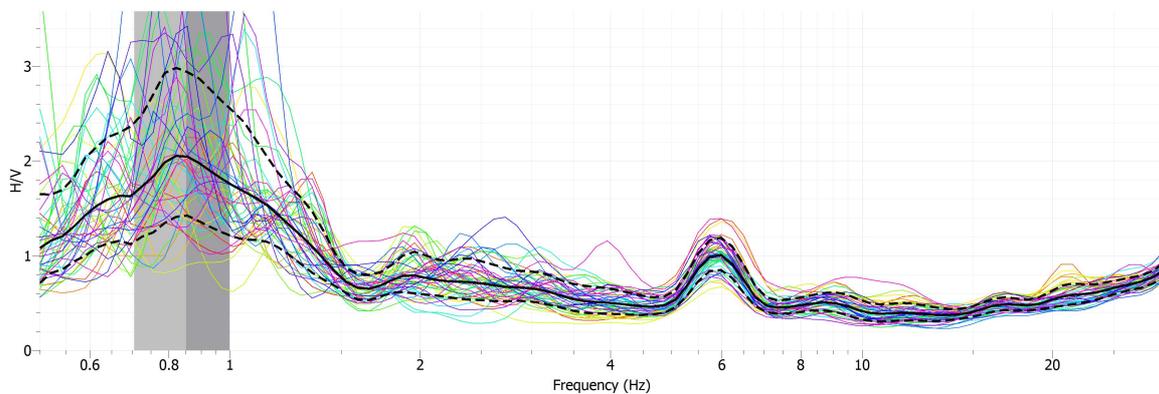
NUMERO TRACCE	3
FREQUENZA GEOFONI	2 HZ
FREQUENZA CAMPIONAMENTO	500 HZ
TEMPO REGISTRAZIONE	1200 S
NUMERO CAMPIONI	600.000
DIREZIONE TRACCE	NORD-SUD, EST-OVEST, VERTICALE

GRAFICI TRACCE CON FINESTRE SELEZIONATE

NUMERO TOTALE FINESTRE SELEZIONATE	48
DIMENSIONE TEMPORALE FINESTRE	25 S



RAPPORTO SPETTRALE H/V FREQUENZA DEL PICCO 0.85 HZ ± 0,55 A₀ = 2.045



* Copia conforme all'originale * Comune di Colico Prot. n. 0016419 del 25-08-2023 arrivo Cat. 6 Cl. 3

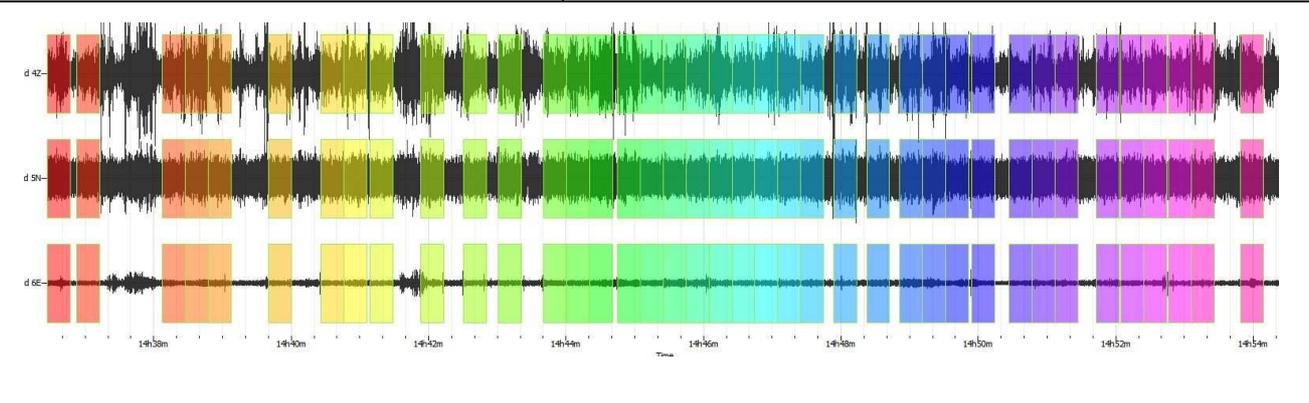
HVSR2 DATI GENERALI



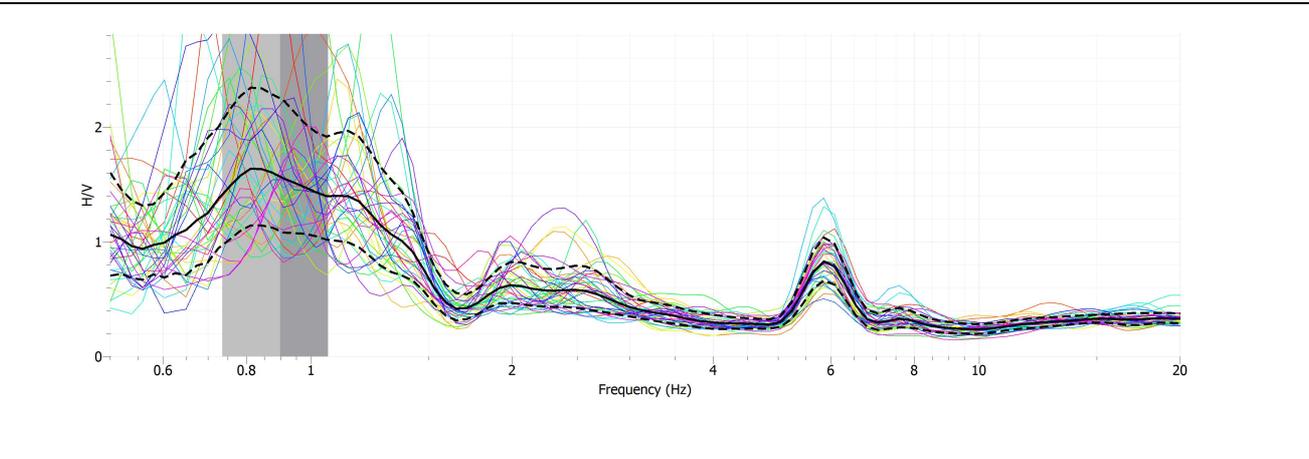
NUMERO TRACCE	3
FREQUENZA GEOFONI	2 HZ
FREQUENZA CAMPIONAMENTO	500 HZ
TEMPO REGISTRAZIONE	1200 S
NUMERO CAMPIONI	600.000
DIREZIONE TRACCE	NORD-SUD, EST-OVEST, VERTICALE

GRAFICI TRACCE CON FINESTRE SELEZIONATE

NUMERO TOTALE FINESTRE SELEZIONATE	38
DIMENSIONE TEMPORALE FINESTRE	25 S



RAPPORTO SPETTRALE H/V FREQUENZA DEL PICCO 0.88 Hz ± 0,55 A₀ = 1.56



* Copia conforme all'originale * Comune di Colico Prot. n. 0016419 del 25-08-2023 arrivo Cat. 6 Cl. 3

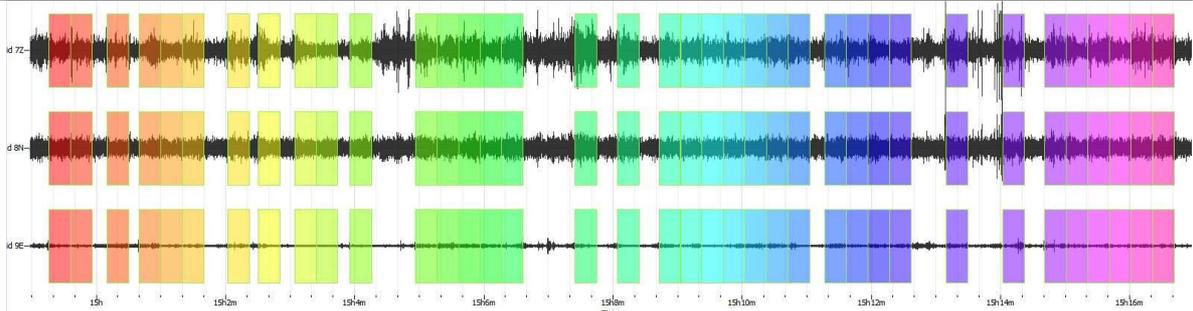
HVSR3 DATI GENERALI



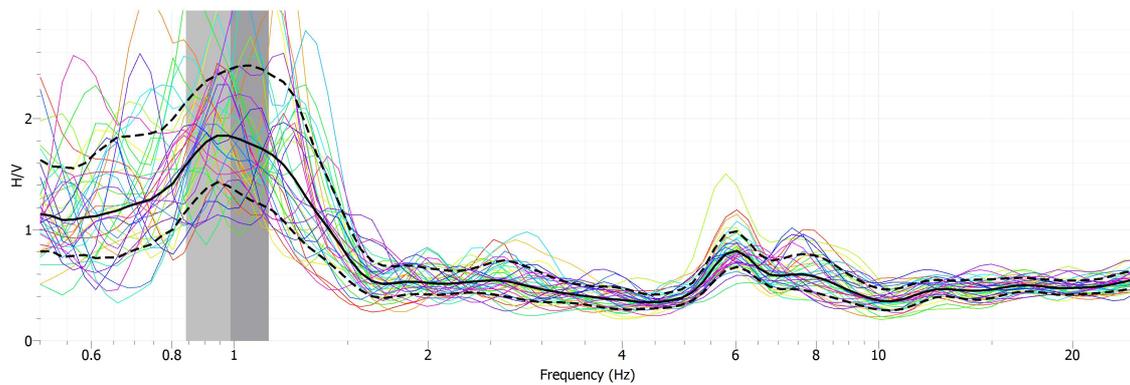
NUMERO TRACCE	3
FREQUENZA GEOFONI	2 HZ
FREQUENZA CAMPIONAMENTO	500 HZ
TEMPO REGISTRAZIONE	1200 S
NUMERO CAMPIONI	600.000
DIREZIONE TRACCE	NORD-SUD, EST-OVEST, VERTICALE

GRAFICI TRACCE CON FINESTRE SELEZIONATE

NUMERO TOTALE FINESTRE SELEZIONATE	39
DIMENSIONE TEMPORALE FINESTRE	25 S



RAPPORTO SPETTRALE H/V FREQUENZA DEL PICCO $0.98 \text{ Hz} \pm 0,55$ $A_0 = 1.83$



L'interpretazione ha consentito di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del primo rifratore (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del moto fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde S_H , si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata da una discontinuità sismica localizzata alle basse frequenze ed è associabile alla presenza di un cambio litologico, il rapporto H/V risulta essere medio.

Tutte e tre le indagini risultano comparabili tra di loro con una frequenza caratteristica del sito di circa 0,8 HZ e un secondo picco attorno ai 6 Hz probabilmente correlabile ad un cambio litologico superficiale

La curva nera continua rappresenta il rapporto H/V medio, mentre le curve nere tratteggiate, dette "curve di confidenza", sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard dei valori delle singole curve H/V.

2.10 Inversione prova HVSR

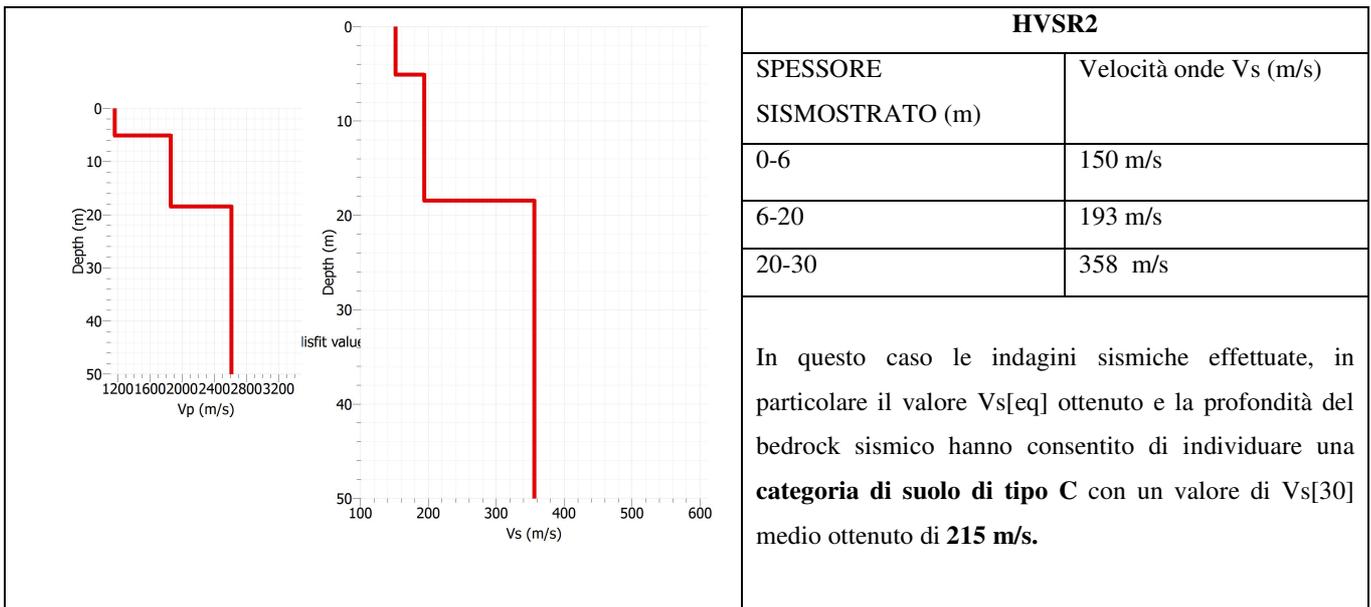
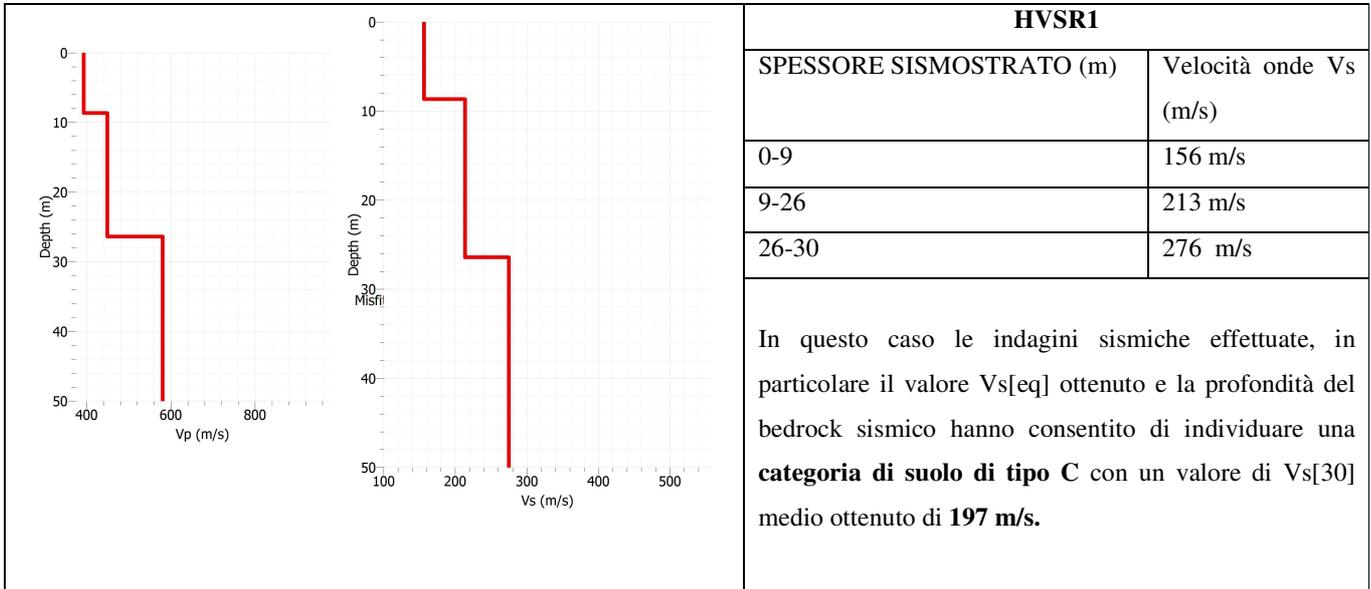
Tramite il codice di calcolo Dinver si è proceduto all'inversione dei dati ottenuti allo scopo di ricavare il profilo stratigrafico dell'area.

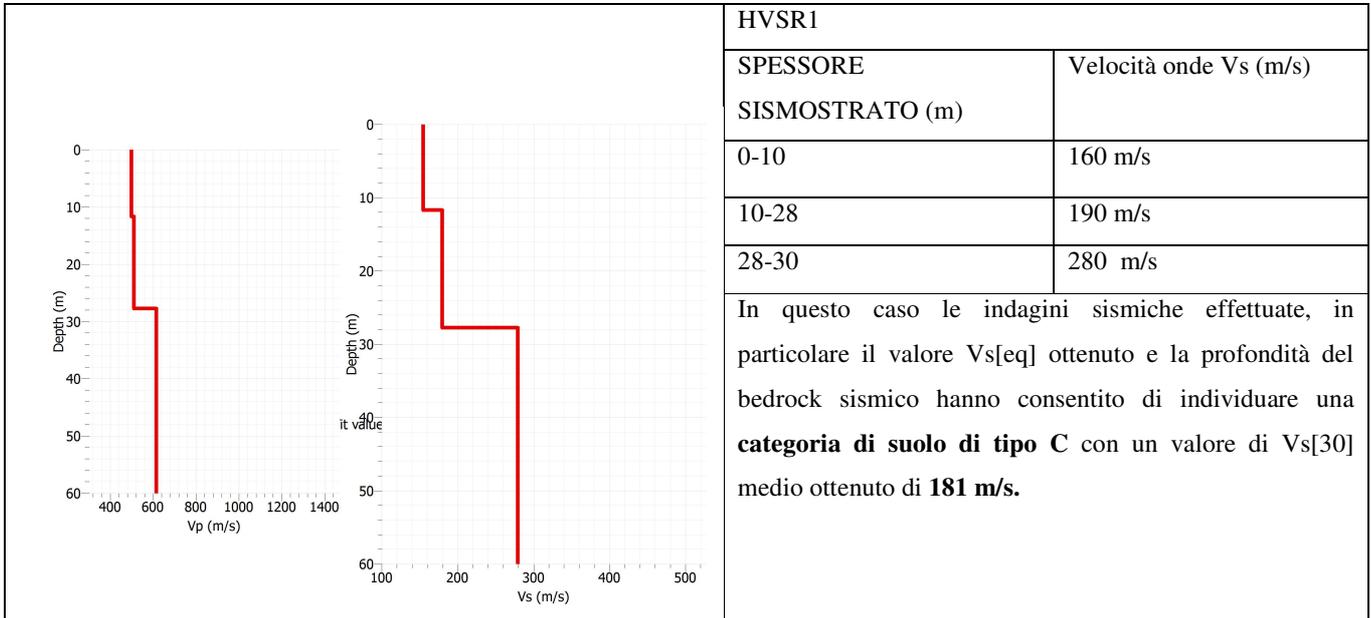
In particolare sulla base di quanto sopra indicato è stato definito un modello iniziale con "fit vincolato" sulle indicazioni del profilo di V_s di riferimento bibliografico condotto nell'intorno dell'area (MASW), che è stato successivamente sottoposto ad inversione al fine di generare una serie di modelli della velocità di fase delle onde di Rayleigh dai quali si possono ottenere una serie di profili V_s/z inclusi in un determinato intervallo di misfit.

In questo caso il riferimento bibliografico dell'area e la tecnica a stazione singola si è rivelato molto utile, poiché le indagini di riferimento bibliografico hanno fornito il vincolo per il fit della prova H/V che ha successivamente permesso di ottenere un profilo di V_s fino a profondità maggiori 40m.

Come già ricordato, per l'inversione dei dati è stato utilizzato il codice di calcolo "DINVER".

Sono state individuate le seguenti stratigrafie





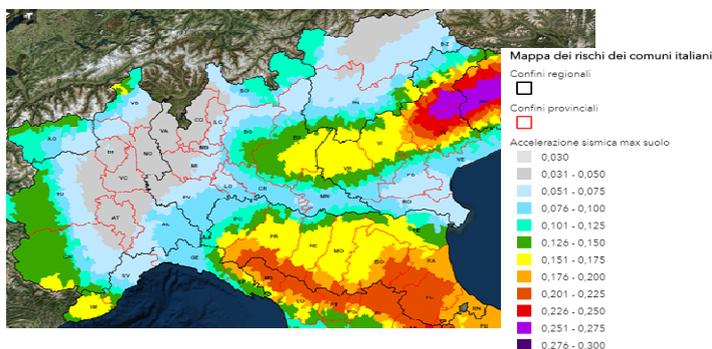
In base alla classificazione della categoria di terreno in funzione della velocità sismica (comparata con le conoscenze stratigrafiche personali) si ha che il terreno in oggetto è ascrivibile alla **categoria C** (scelta locale attuata in merito ai risultati delle analisi indirette)

C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ (V_{sh}) compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)*

2.10.1 Parametri sismici di base per l'area in oggetto (NTC 2018) (programma Geostru PS)

Geostru PS consente di individuare la pericolosità sismica secondo le **NTC** di tutte le località Italiane compreso le Isole direttamente su mappa geografica.

Geostru PS fornisce oltre ai parametri sismici (ag, F0 e TC. *) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC, tipici del luogo o della costruzione in esame, i coefficienti sismici (kh, kv) orizzontali e verticali.



Estratto Mappa dei rischi dei comuni italiani: cartografia ISTAT

In riferimento alla verifica in sito l'area è caratterizzata da un sottosuolo di tipo C e categoria topografica T1.

Spettri V. 1.03 , programma del Consiglio superiore dei Lavori pubblici) fornisce gli spettri di risposta delle componenti delle azioni sismiche di progetto nel sito in esame.

Sito in esame.

latitudine: 46,139046
longitudine: 9,400446
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	9378	46,1159	9,3858	2812,866
Sito 2	9379	46,1183	9,4576	4973,935
Sito 3	9157	46,1682	9,4542	5261,360
Sito 4	9156	46,1658	9,3823	3292,488

Parametri sismici

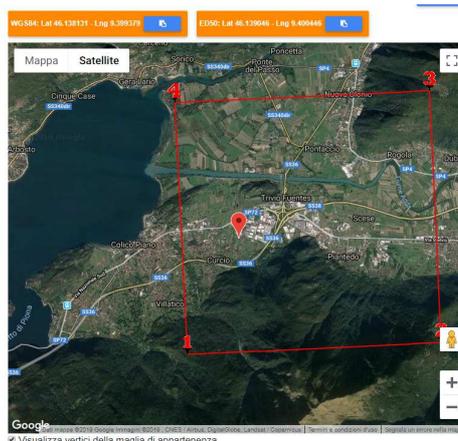
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,018 g
Fo: 2,632
Tc*: 0,158 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,022 g
Fo: 2,627
Tc*: 0,170 [s]



Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,045 g

Fo: 2,709

Tc*: 0,275 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0,054 g

Fo: 2,747

Tc*: 0,298[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,930

St: 1,000

Kh: 0,005

Kv: 0,003

Amax: 0,264

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,890

St: 1,000

Kh: 0,007

Kv: 0,003

Amax: 0,327

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500

Cc: 1,610

St: 1,000

Kh: 0,013

Kv: 0,007

Amax: 0,656

Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,500

Cc: 1,570

St: 1,000

Kh: 0,016

Kv: 0,008

Amax: 0,788

Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 46.138131

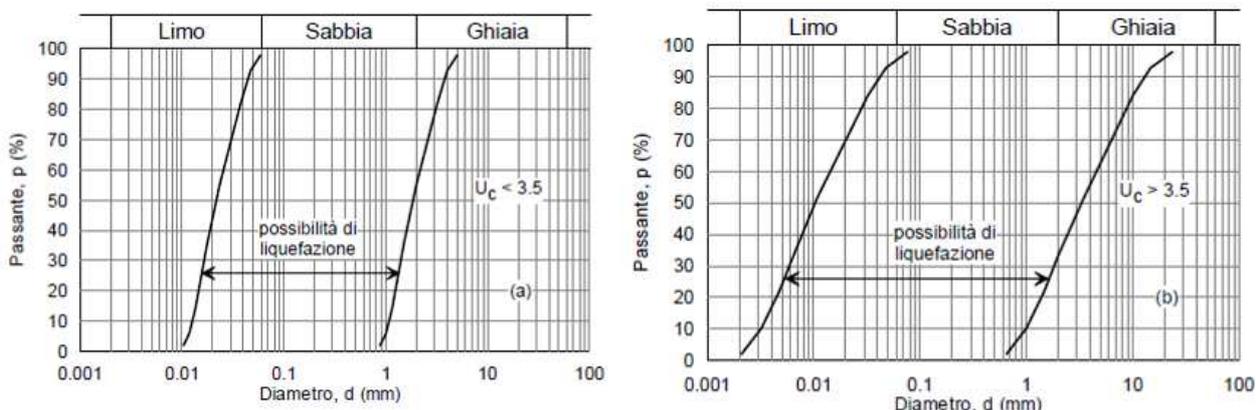
longitudine: 9.399379

3 LIQUEFAZIONE

Esclusione della verifica a liquefazione

Ai sensi delle NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) NTC 2008 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Nel caso in esame sussistono almeno 1 delle condizioni (accelerazione massima attesa) per non avere terreni soggetti a liquefazione.

Colico, Giugno 2022

Depoli dott. Claudio
Geologo