



COMUNE DI BAISO
PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

Progetto esecutivo

**Progetto esecutivo per la realizzazione centrale a cippato secondo la
Delibera di Giunta Regionale n. 6 del 11 Gennaio 2017**

(UE) N. 1305/2013 – PSR 2014-2020 – MISURA 7 – TIPO DI OPERAZIONE
7.2.01 “REALIZZAZIONE DI IMPIANTI PUBBLICI PER LA PRODUZIONE DI
ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI”

PE_E04 – RELAZIONE GEOLOGICA

Committente

Comune di Baiso

 IL DIRETTORE TECNICO Ing. Matteo Cecconi	IL PROGETTISTA TERMOTECNICO Ing. Alex Ferretti
IL PROGETTISTA EDILE Ing. Manuel Lasagni	
	EMISSIONE 03.01.2018
Rev. N. 00	Descrizione Data

TABELLA REVISIONI

1. PREMESSE

Su incarico del Comune di Baiso (Provincia di Reggio Emilia) ed in stretto raccordo con il Progettista strutturale, ing. Manuel Lasagni, è stata eseguita l'indagine geologica e di modellazione sismica dei terreni siti in Comune di Baiso, località campo sportivo (Fig. 1), interessati dal progetto di realizzazione di una centrale a cippato secondo la Delibera di Giunta Regionale 11.01.2017, n° 6 - (UE) N. 1305/2013 – PSR 2014-2020 – Misura 7 – Tipo di operazione 7.2.01 “Realizzazione di impianti pubblici per la produzione di energia da fonti rinnovabili”.

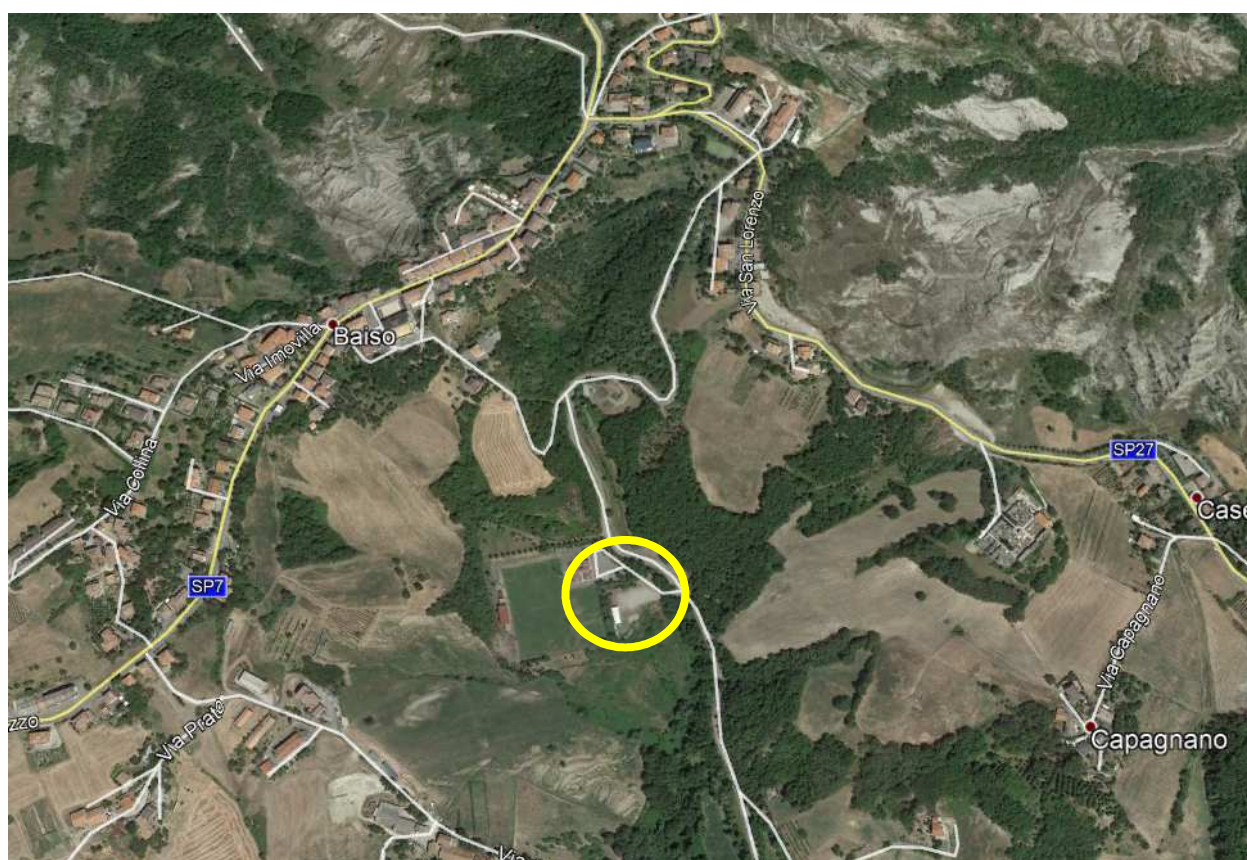


Fig. 1 – Inquadramento territoriale. L'ubicazione dell'area di intervento è evidenziata dal cerchio giallo (stralcio da Google Earth)

Lo studio è stato svolto nel rispetto delle seguenti norme:

- Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003 e ss.mm.ii “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” e s.m.i;
- D.M. 14.01.2008 “*Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni*” e Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 2 febbraio 2009, n° 617 “*Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*”;
- L.R. 30 ottobre 2008, n° 19 “*Norme per la riduzione del rischio sismico*” e s.m.i..

L'obiettivo dello studio è stato quello di caratterizzare l'area sotto il profilo geolitologico,



geomorfologico, idrogeologico, sismico e geotecnico, al fine di fornire gli elementi di conoscenza necessari alla formulazione delle scelte progettuali.

La ricerca bibliografica e le verifiche di campagna hanno consentito di realizzare i seguenti elaborati:

- Tav. 1 – Carta geologica (scala 1:5.000);
- Tav. 2 – Planimetria delle indagini geognostiche (scala 1:100);
- Allegato 1 – Prova penetrometrica dinamica;
- Allegato 2 – Prospezione sismica con tecnica HVSR a stazione singola.

2. METODOLOGIA DI INDAGINE

Per quanto riguarda la conoscenza delle caratteristiche litologiche e geomeccaniche dei terreni, necessarie per la definizione dei modelli geologico e geotecnico del sottosuolo interessato dalle sollecitazioni trasmesse dalle opere in progetto, è stata realizzata una campagna di indagini geognostiche consistente in:

- n° 1 prova penetrometrica dinamica, spinta ad una profondità di -8.00 m dal p.c.;
- n° 1 prospezione sismica con tecnica HVSR a stazione singola.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Tav. 2, mentre i report sono riportati negli allegati 1 e 2.

La prova penetrometrica è stata eseguita impiegando un penetrometro Pagani medio portatile (DPM) modello DM-30, avente le seguenti caratteristiche:

- peso del maglio $M = 30 \text{ kg}$
- altezza di caduta $H = 20 \text{ cm}$
- peso del sistema di battuta = 13,60 kg
- peso aste per metro = 2,40 kg
- angolo apertura punta conica $\alpha = 60^\circ$
- area base della punta conica $A = 10,00 \text{ cm}^2$

L'esecuzione della prova è avvenuta facendo penetrare verticalmente la punta nel terreno sino al raggiungimento delle condizioni di rifiuto strumentale all'avanzamento e rilevando il numero di colpi necessari per avanzamenti consecutivi di cm 10.

L'indagine geofisica è stata eseguita impiegando un tromografo digitale portatile, Micromed Tromino® progettato specificamente per la registrazione del rumore sismico



ambientale, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, che permettono la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz.

Per l'area in esame la caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del sottosuolo è stata ottenuta attraverso registrazioni del rumore sismico di fondo, prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si tratta di oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s²) in termini di accelerazione, inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

Una volta acquisito il segnale, attraverso misure di durata pari a 16 minuti, si è proceduto alla elaborazione con un software dedicato, che ha permesso di ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

3. MODELLO GEOLOGICO

3.1 Caratteri geologici e morfologici

L'Appennino Settentrionale è il risultato dell'apertura e successiva chiusura di un margine passivo, che portò alla nascita e successiva subduzione dell'Oceano Ligure - Piemontese. In tale dominio paleogeografico si depositarono, sia su crosta oceanica che su crosta continentale, due grandi insiemi di depositi, diversi sia per litologia che per struttura, denominati *"Dominio Interno Ligure - Emiliano"* e *"Dominio Esterno Umbro - Toscano"*.

Il Dominio Toscano è costituito da depositi di zoccolo continentale, su cui poggiano scollate e deformate le successioni mesozoiche-terziarie che ne costituiscono la copertura. L'età dei depositi che lo compongono varia dal Cretacico (140 milioni di anni) al Miocene (5 milioni di anni). La successione dell'Insieme Esterno inizia con depositi di piattaforma, evolvendo verso profondità maggiori fino a comprendere depositi di diaspri; questi vengono coperti da marne in facies pelagica (Scaglia). A partire dal Terziario, in concomitanza con l'inizio della chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese, la sedimentazione diviene a carattere prettamente clastico, con la deposizione di potenti depositi torbiditici arenacei conosciuti con il nome di flysch. Questi depositi variano per facies e per età.

Viceversa le Unità Liguri sono depositi di crosta oceanica, come evidenzia la presenza di ofioliti, che a seguito della chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese hanno subito una traslazione da Ovest verso Est sull'Insieme Esterno, andandolo a sormontare, pur essendo più antiche.

Le Unità Liguri si dividono a loro volta in Interne ed Esterne e si differenziano per il fatto che le Interne presentano ofioliti in posto, mentre nelle Esterne compaiono come masse



scivolato nel bacino di sedimentazione. L'età dei depositi liguri varia dal Giurassico all'Eocene.

Anche nel Dominio Ligure la sedimentazione si conclude con depositi di carattere flyschoidi, con periodi che variano dal Maastrichtiano al Paleocene-Eocene. Nella zona più interna questi depositi sono rappresentati dal flysch ad elmintoidi, mentre nella parte esterna i flysch si sedimentano parzialmente sul flysch ad elmintoidi e sono in buona parte scollati per costituire unità a se stanti.

Con riferimento alla “*Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG*”, i depositi affioranti nell'areale di studio (cfr. Tav. 1) possono essere così distinti:

- **Deposito di frana attiva:** si tratta di estesi depositi gravitativi presenti lungo il versante a sud-est del Capoluogo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituiti da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che nella maggior dei casi è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.
- **Formazione di Monte Venere (Campaniano sup.):** tale formazione è caratterizzata dall'alternanza di due tipi di torbiditi: torbiditi prevalentemente arenaceo-marnose, con base arenitica fine, spesse fino a 50-60 cm; torbiditi arenaceo-pelitiche, meno rappresentate rispetto allo spessore complessivo, in cui la frazione arenitica può raggiungere occasionalmente anche una grana media.
- **Brecce argillose di Baiso (Cenomaniano - Santoniano):** Vengono attribuiti a questa formazione tutti i depositi derivati da colate miste di fango e detriti ad alta densità (debris flow e mud flow) in ambiente marino profondo che:
 - costituiscono localmente la base della Successione epiligure in estese aree dell'Appennino emiliano;
 - non hanno al loro interno lembi riferibili (o non sono intercalati) a peliti della Formazione di Antognola;
 - sono caratterizzati dalla scala microscopica a quella dell'affioramento, da una tessitura clastica, ma che a luoghi possono contenere masse e/o livelli appartenenti alle unità liguri o epiliguri basali.



Si tratta di brecce poligeniche a matrice prevalentemente argillosa, solo localmente arenacea, intendendo per matrice la frazione detritica a grana fine nella quale si trovano immersi clasti e blocchi poligenici di dimensioni variabili da millimetrici, fino a plurimetrici.

In base ai caratteri litologici, in buona parte ereditati dalle formazioni liguri da cui queste brecce traggono origine, la formazione è stata suddivisa in membri che non presentano quasi mai rapporti reciproci visibili, affiorando in aree geografiche distinte; si può parlare perciò di una sorta di grossolana “eteropia” a scala regionale, sulla base della comune età e della comune posizione stratigrafica che essi occupano.

L'area di intervento si colloca alla quota di circa 460 m s.l.m. nel piazzale antistante il campo sportivo comunale, nei pressi del contatto tra la Formazione di M. Venere e delle Brecce argillose di Baiso, ricoperto in questo areale dai depositi gravitativi attivi, la cui potenza può essere stimata in circa 2.50÷3.50 metri.

Gli interventi antropici che hanno portato alla realizzazione del campo sportivo, dei servizi annessi, della sede degli Alpini e degli ampi spazi di parcheggio, hanno contribuito a migliorare la stabilità locale.

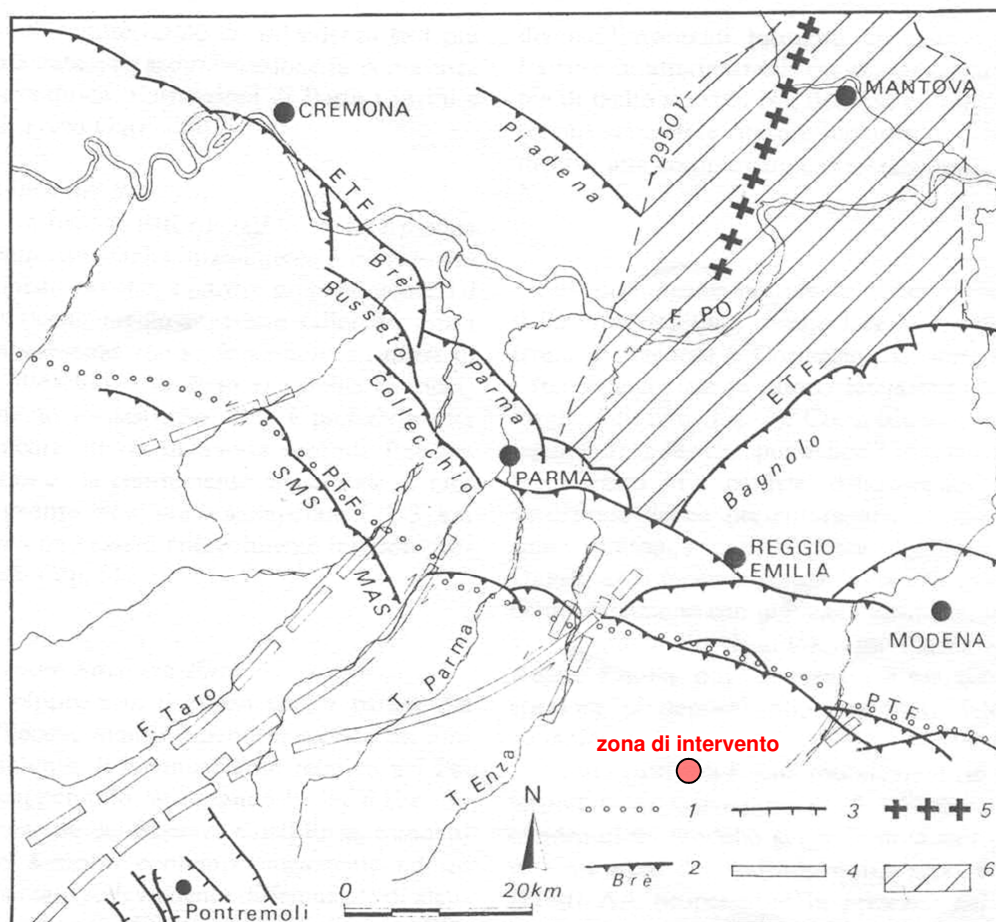
La stabilità complessiva dell'area è subordinata al buon funzionamento delle opere di bonifica idrogeologica realizzate nel tempo.

L'opera in progetto non comporterà sbancamenti o riporti.

3.2 Caratteri strutturali e sismici

Il settore di catena appenninica, entro cui ricade l'area di intervento, è caratterizzato da un campo deformativo compressionale attivo, conseguenza dell'interazione tra le placche africana e euroasiatica.

La tettonica a stile compressivo ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'antistante edificio padano, attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE (Fig. 2), le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria (Boccaletti et al., 1985).



1) Margine morfologico appenninico. 2) Strutture Agip citate nel testo. 3) Faglie normali della fossa tettonica della Lunigiana. 4) Linee trasversali di ordine maggiore. 5) Asse di alto del «basamento magnetico». 6) Massimo dell'anomalia magnetica residua (oltre 2950 γ).

Fig. 2 - Schema strutturale del margine e del fronte appenninico (M. Bernini e G. Papani). Il punto rosso indica approssimativamente la zona oggetto dell'intervento.

Il fascio più settentrionale (External Thrust Front = ETF), coincidente con l'allineamento Cremona-Parma-Reggio E., appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane", che dall'Appennino vogherese si estendono fino alla linea del Sillaro: esso risulta costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

Il fascio meridionale (Pedepenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici (Stirone, Taro, Baganza ed Enza), che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

Le recenti ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella *“Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”* (2017), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici (Fig. 3).

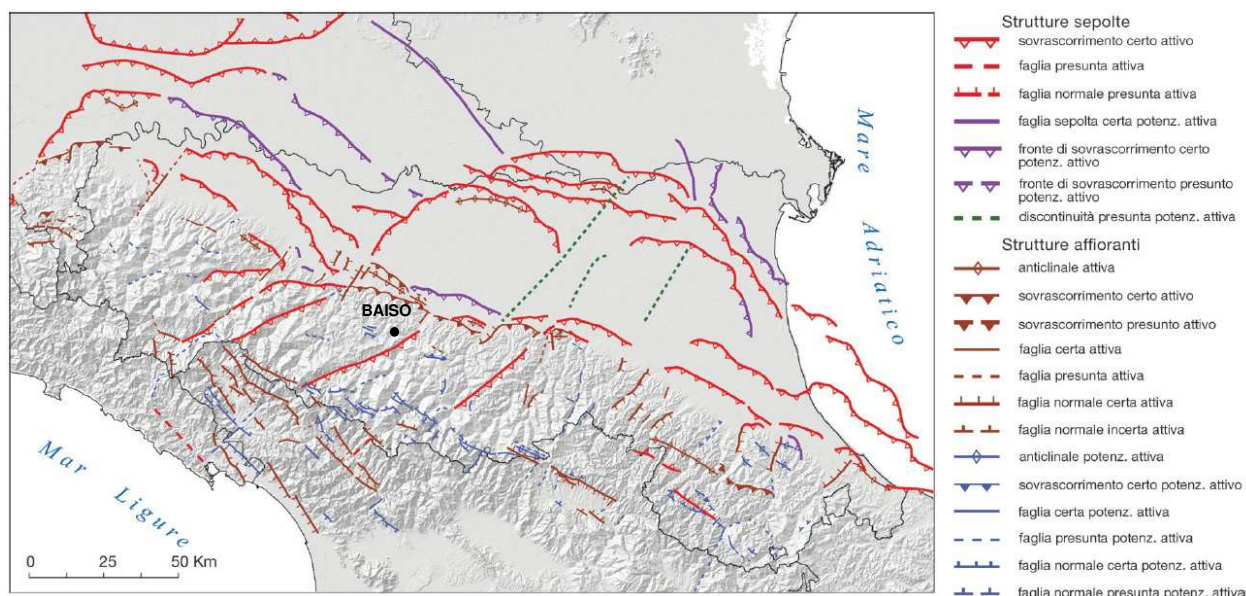


Fig. 3 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna (da: “Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe” - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2017)

Sotto il profilo sismico, gli studi sulla pericolosità sismica, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata “ZS9”, che prevede una suddivisione in 36 zone (Fig. 4), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

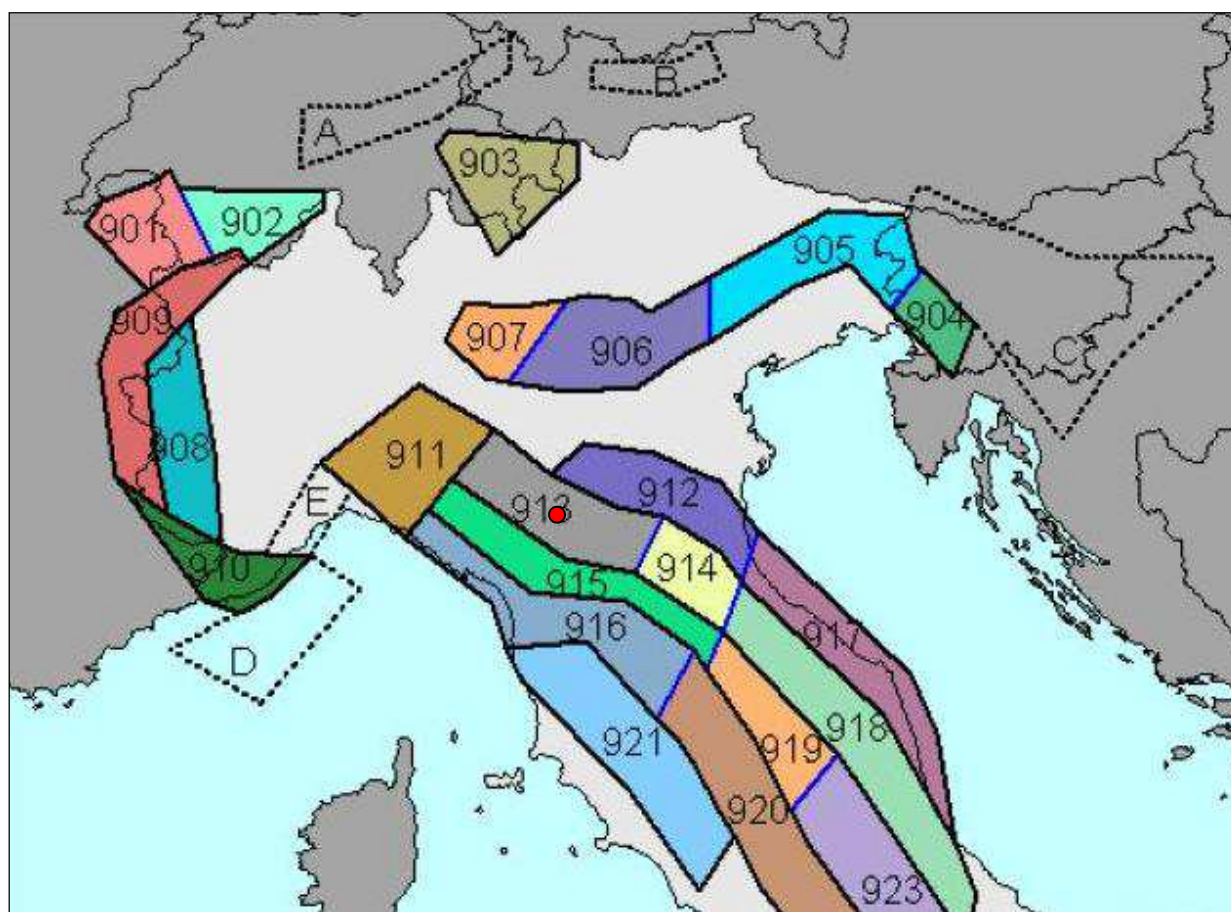


Fig. 4 - Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004" - INGV). Il punto rosso segna approssimativamente l'area di intervento.

In particolare il territorio in studio ricade all'interno della zona sismogenetica 913, che è caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, originati da movimenti prevalentemente compressivi NW con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a $M_{wmax} = 5,91$.

A seguito dell'emanazione dell'OPCM n° 3274/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e s.m.i., il Comune di Baiso è stato classificato sismico in **ZONA 3**.

Sulla base della *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale* (INGV, 2004), il territorio in questione si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo (a_{max}) compresa tra $0.150 \div 0.175$.

In Fig. 5 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una

griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo).

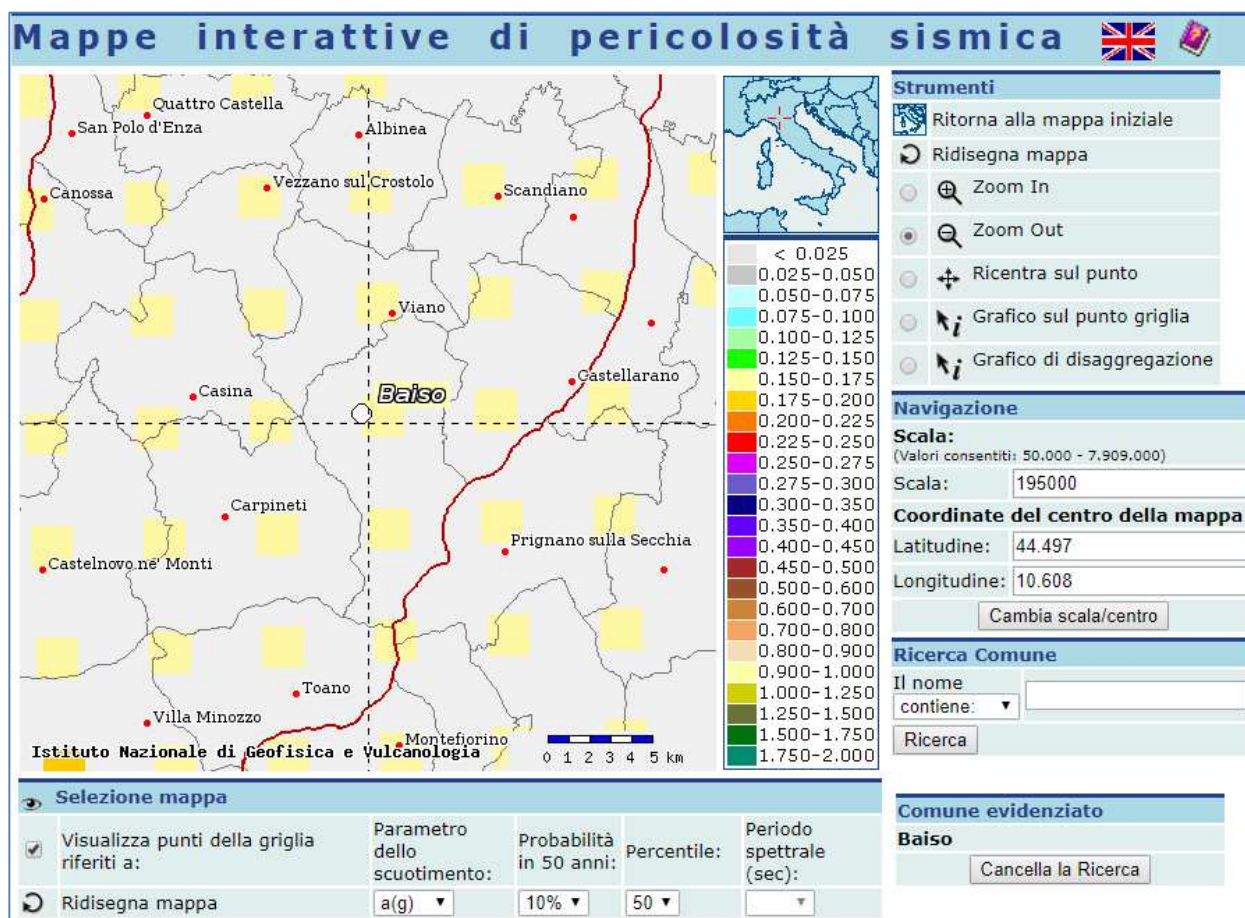


Fig. 5 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del Comune di Baiso espressa in termini di **a(g)** per un Tempo di ritorno di 475 anni

Per una completa valutazione del terremoto di riferimento, si è provveduto ad estrarre dal Database macrosismico dell'INGV (DBMI15), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, gli eventi sismici che hanno storicamente interessato il territorio in esame (Tab. 1 – Fig. 6).

Al fine di disporre di un'ampia massa di dati (40 osservazioni), l'estrazione è stata fatta con riferimento all'abitato di Scandiano, che dista circa 13 km in direzione Nord-Est.



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
6-7	1873	05	16	19	35		Reggiano	15	6-7	5.01
6	1885	02	26	20	48		Pianura Padana	78	6	5.01
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
5-6	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1923	06	28	15	12		Modenese	22	6	5.04
5-6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1914	10	27	09	22		Lucchese	660	7	5.63
5	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
5	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
4-5	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
4-5	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
4	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
4	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
4	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
4	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
3-4	1932	04	19	00	17		Modenese	9	4	3.63
3-4	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73
3	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
3	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
2-3	1939	10	15	14	05		Garfagnana	62	6-7	4.96
2	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
2	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23

Tab. 1 – Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Scandiano tra il 1000 e il 2014 (A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15> - parzialmente modificato)

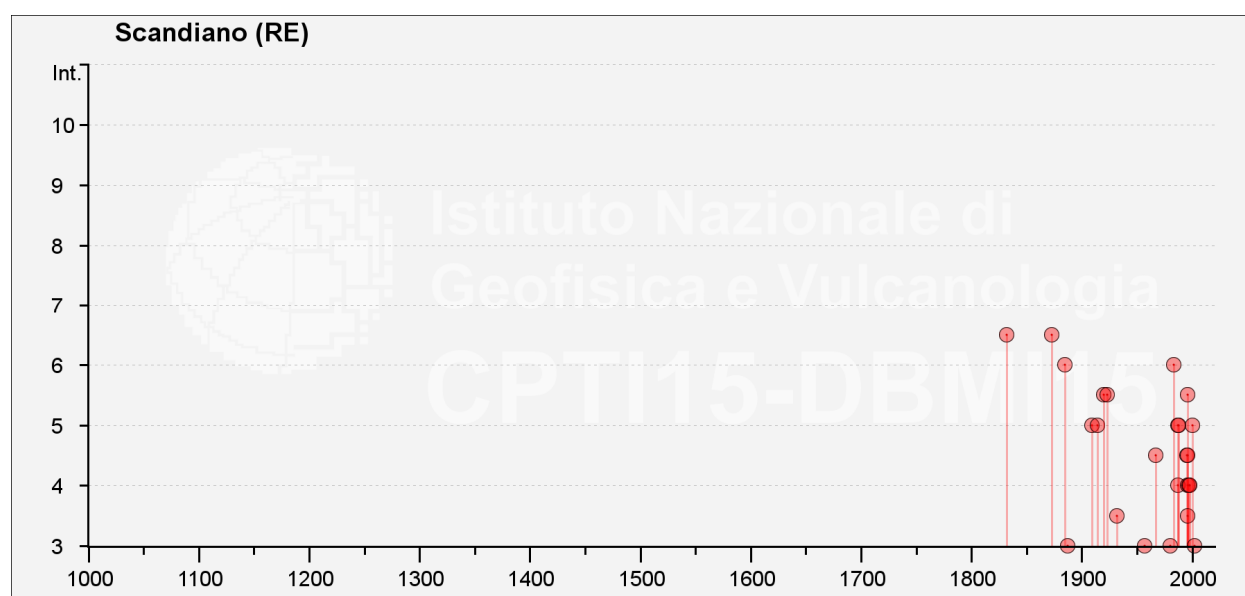


Fig. 6 – Rappresentazione grafica della storia sismica di Scandiano limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 (cfr. Tab. 1). A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli e P. Gasperini



(a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>

4. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE E IDROGEOLOGICHE

Come illustrato nel Cap. 2, allo scopo di accertare le caratteristiche litostratimetriche dei terreni, finalizzate alla definizione del modello geologico del sottosuolo, è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica e sono stati condotti rilievi di campagna.

A causa del riporto ghiaioso che costituisce il fondo del piazzale, è stato dapprima eseguito un preforo di circa 40 cm, tuttavia è stata accertata la presenza di materiali grossolani di riporto sino alla profondità di -0.70 m dal piano campagna.

Al di sotto sono stati attraversati depositi di natura argilloso-limoso che si spingono sino ad una profondità di circa -3.40 m dal p.c..

Più in profondità i depositi attraversati si fanno più consistenti con inclusi occasionali elementi litoidi eterogenei ed eterometrici.

Alla profondità di -7.30 m dal p.c. sono stati intercettati depositi che hanno offerto maggiore resistenza all'attraversamento denotando una natura litoide.

L'assetto idrogeologico dell'area è strettamente condizionato dalle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti.

I depositi di copertura presentano una permeabilità variabile ma in genere bassa, mentre il substrato roccioso presenta una permeabilità secondaria per fessurazione da media a bassa.

Al termine dell'indagine nel foro di sondaggio è stata misurata una soggiacenza della falda di circa m -3.00 rispetto al piano campagna.

5. MODELLO GEOTECNICO

Secondo quanto previsto dalla normativa vigente si è proceduto alla caratterizzazione geotecnica dei terreni, la cui conoscenza è indispensabile per la corretta progettazione delle opere di fondazione.

A tal scopo si è fatto riferimento alle indagini in situ effettuate ed in particolare ai valori di resistenza penetrometrica dinamica (Rpd) della prova penetrometrica (Fig. 7). La Rpd è stata ottenuta elaborando il numero di colpi (N10) mediante la seguente formula (*formula olandese*):

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{A \cdot \delta \cdot (M + P)}$$



in cui:

M = peso massa battente

H = altezza di caduta della massa battente

N = numero di colpi per ogni tratto di avanzamento

A = area base della punta conica

δ = tratto di avanzamento della punta

P = peso totale delle aste

Il modello geotecnico del sottosuolo può essere così schematizzato:

Livello 0

È costituito dai materiali di riporto granulari (ciottoli, stabilizzato, ecc.), con spessore di circa 0.50÷0.80 m e non presenta alcun interesse sotto il profilo geotecnico.

Livello A

È costituito da depositi argilloso-limosi di colore marrone e di consistenza media e medio-bassa, che si spingono sino a circa -3.40 m dal p.c..

Tale orizzonte presenta un comportamento geotecnico di tipo coesivo e ad esso possono essere attribuiti i seguenti parametri caratteristici:

- coesione drenata (c_{uk}) = 0,6 kg/cm²
- angolo di attrito (φ_{uk}) = 0°
- peso naturale del terreno (γ_k) = 1850 kg/m³

Livello B

Si rinviene al di sotto del livello A e si spinge sino a circa -7.30 m dal p.c.. È costituito da depositi di consistenza maggiore rispetto al livello sovrastante, con inclusi rari elementi litoidi. I valori di Rpd sono mediamente compresi tra 30 e 50 kg/cm².

Tale orizzonte presenta un comportamento geotecnico di tipo coesivo e ad esso possono essere attribuiti i seguenti parametri caratteristici:

- coesione drenata (c_{uk}) = 0,9 kg/cm²
- angolo di attrito (φ_{uk}) = 0°
- peso naturale del terreno (γ_k) = 1850 kg/m³

Livello C

Si rinviene al di sotto del livello B e si spinge sino alla profondità massima indagata (-8.00 m dal p.c.). È costituito dal substrato roccioso caratterizzato da un buon grado di consistenza, con valori di Rpd > 70 kg/cm². Tale substrato può essere assimilato a depositi con comportamento geotecnico di tipo granulare e alla porzione superiore interessata da processi di alterazione possono essere attribuiti i seguenti parametri caratteristici:

- coesione efficace (c'_k) = 0 kg/cm²

- angolo di attrito (φ_k) = $33\div 34^\circ$
- peso naturale del terreno (γ_k) = 1950 kg/m^3

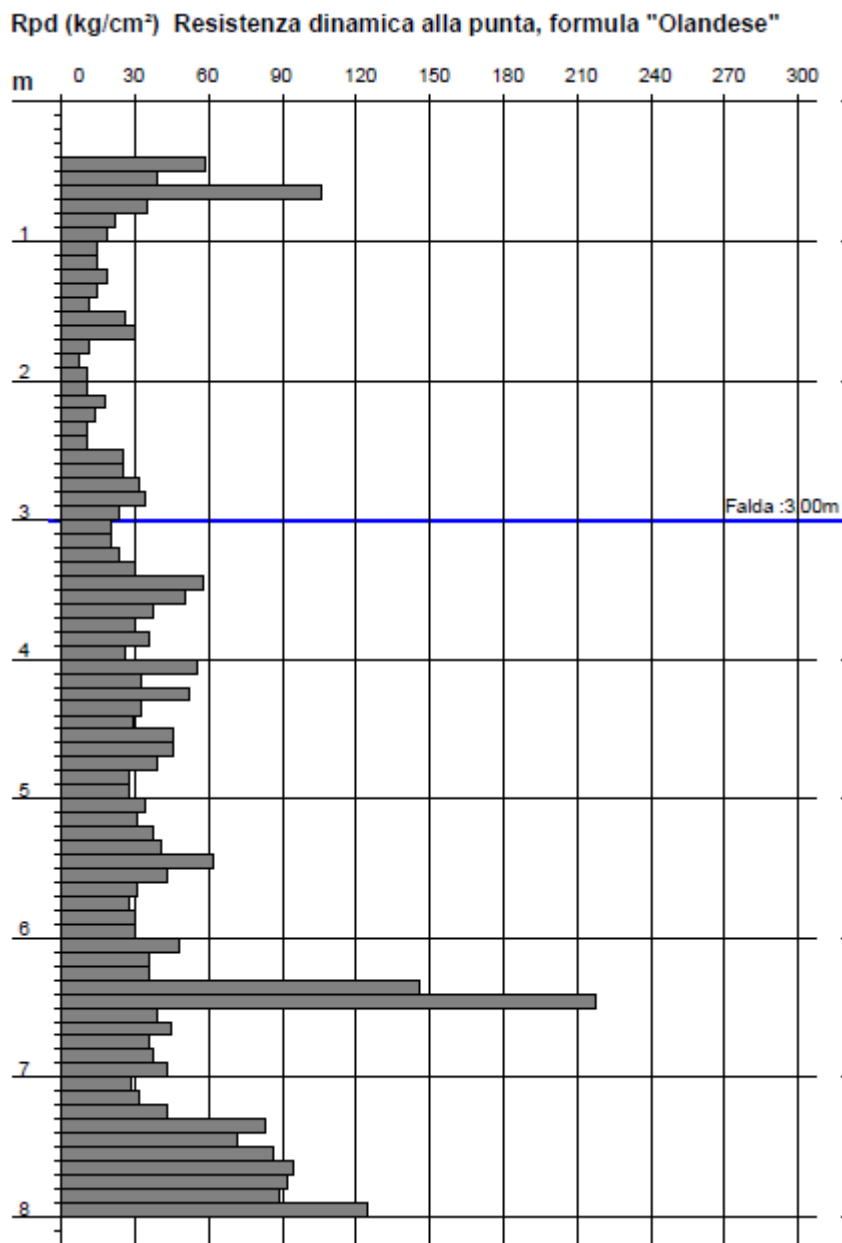


Fig. 7 – Grafico della resistenza penetrometrica dinamica

6. PERICOLOSITA' SISMICA

6.1 Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per la



quali è stata progettata.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 “*Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni*”, la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali (Fig. 8), definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

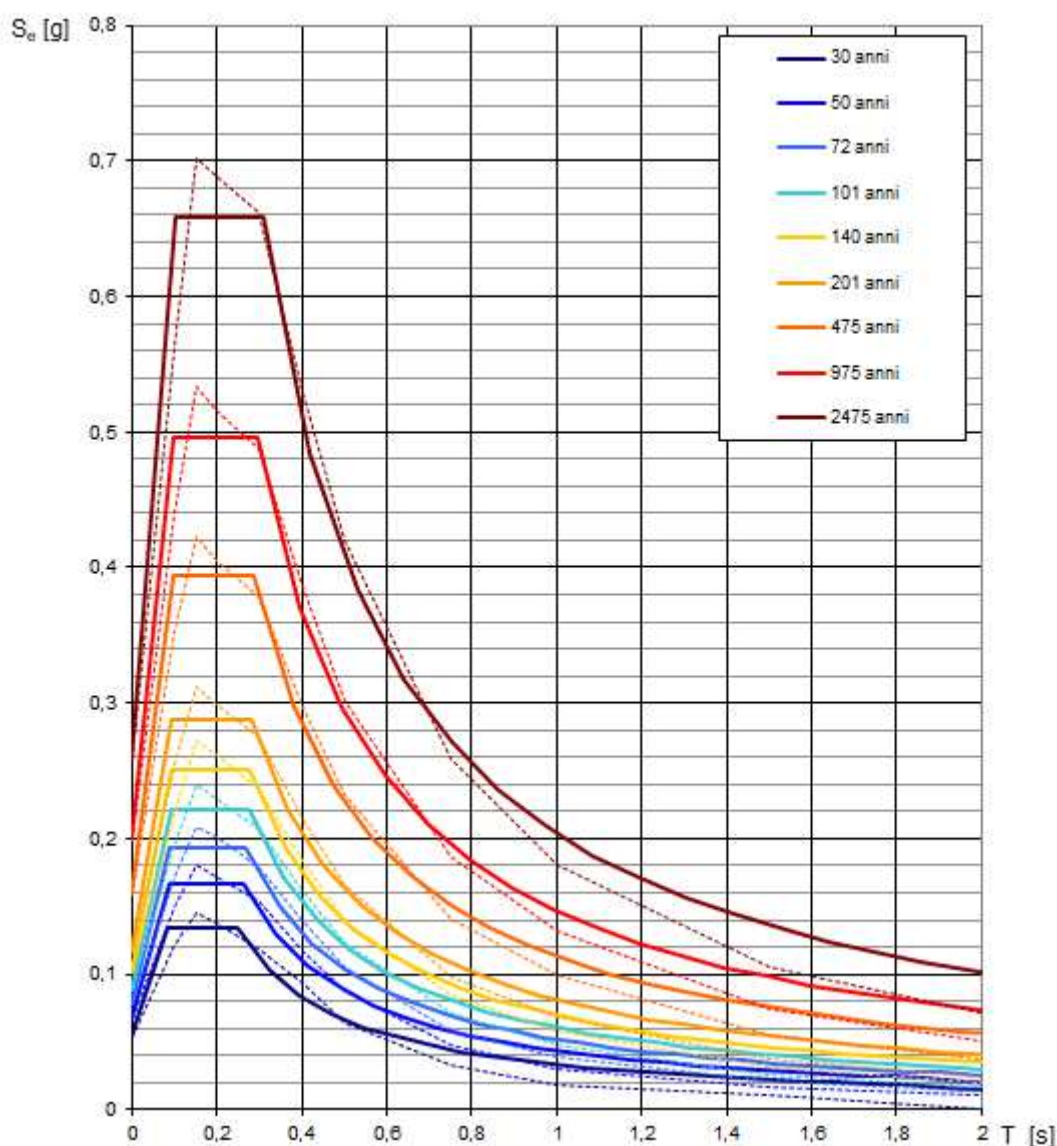
- a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla *pericolosità sismica su reticolo di riferimento*, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO B delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

Per l'area oggetto di intervento (coordinate geografiche - datum ED50): Longitudine = 10,60508° – Latitudine = 44,49402° i valori risultano i seguenti (Tab. 2):

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0,054	2,490	0,248
50	0,067	2,492	0,262
72	0,078	2,497	0,268
101	0,089	2,485	0,275
140	0,101	2,486	0,278
201	0,116	2,489	0,282
475	0,158	2,483	0,287
975	0,199	2,494	0,296
2475	0,258	2,546	0,310

Tab. 2 – Parametri della forma spettrale del sito di intervento. (elab. mediante “Spettri NTC ver.1.0.3”)



NOTA: Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 8 – Spettri di risposta elastici per i periodi di tempi di ritorno T_r su sito di riferimento rigido (elaborazione effettuata con “Spettri NTC ver.1.0.3”).

6.2 Risposta sismica locale

Il moto generato da un terremoto in un sito, tuttavia, è influenzato dalle particolari condizioni locali (risposta sismica locale), cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata con

riferimento alle 7 categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 14.01.2008 *“Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni”*, in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo. In particolare i parametri da considerare (v. Tab. 4) sono riferiti alla velocità delle onde di taglio mediate nei primi 30 metri al di sotto della fondazione (V_{s30}). Nei casi in cui la determinazione delle V_{s30} non sia disponibile, è previsto che la classificazione possa essere effettuata in base al numero di colpi della prova SPT (N_{SPT}), nei terreni a prevalente grana grossa, o alla coesione non drenata (c_u), nei terreni a prevalente grana fina.

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{s30} è definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

in cui: h_i = spessore in metri dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

Come descritto in precedenza ai fini della determinazione delle V_{s30} si è fatto riferimento ad una prospezione sismica mediante tomografo digitale, con definizione delle onde di taglio (onde S) (v. Tav. 2 – All. 3).

Per l'area in esame la prospezione sismica ha restituito il profilo di velocità delle onde di taglio di Fig. 9, cui corrispondono i valori di V_s riportati in Tab. 3:

Profondità del tetto dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
0.40	0.40	130
2.90	2.50	125
6.40	3.50	135
23.40	17.00	265
33.40	10.00	390
inf.	inf.	450

Tab. 3 – Valori di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo

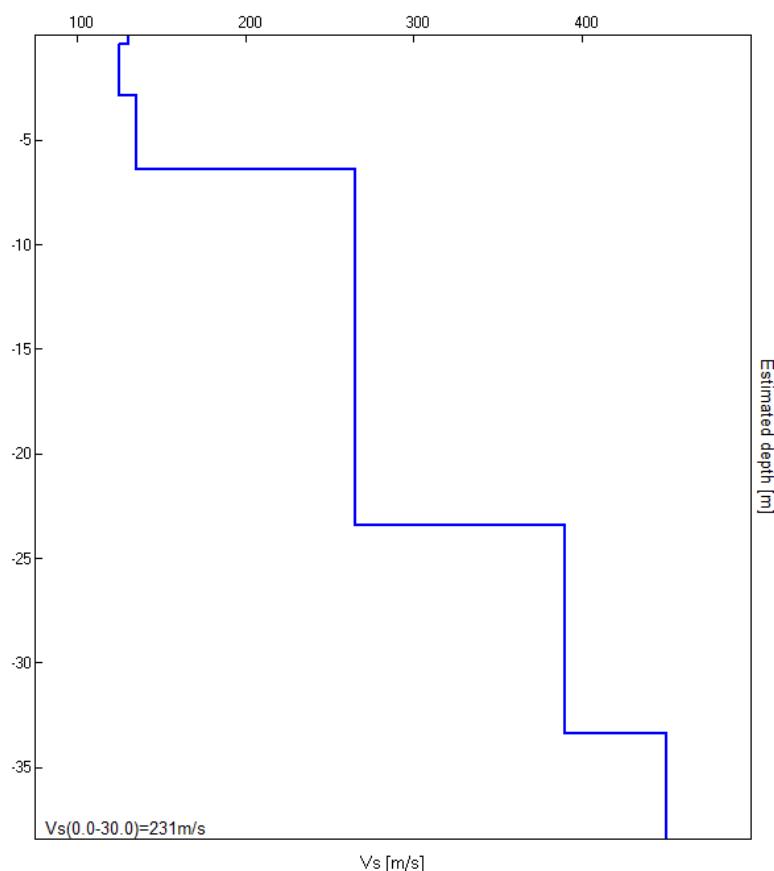


Fig. 9 – Profilo di velocità delle onde di taglio

Il parametro V_{s30} risulta pari a 231 m/s e di conseguenza il sottosuolo di fondazione dell'area di intervento può essere attribuito alla categoria C (Tab. 4).

categoria di sottosuolo e descrizione		V_{s30}	N_{SPT}	c_u
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	>800 m/s		
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensate 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_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360÷800 m/s	>50	>250 kPa
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_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180÷360 m/s	15÷50	70÷250 kPa
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 m/s	<15	<70 kPa
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)			
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	<100 m/s		10÷20 kPa
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			

Tab. 4 – Categorie del sottosuolo di fondazione - D.M. 14/01/2008 (Tab. 3.2.II e 3.2.III mod.)

6.2.1 Effetti sismici locali

Amplificazione stratigrafica

L'areale risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di depositi con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s.

La misura effettuata con tromografo digitale (Fig. 10) ha evidenziato la presenza di un picco significativo del rapporto spettrale H/V alla frequenza di circa 2,78 Hz. Al fine di valutare il rischio di risonanza accoppiata struttura-terreno, sarà necessario verificare se la frequenza di risonanza fondamentale dell'edificio in questione corrisponde al valore di risonanza del terreno di fondazione.

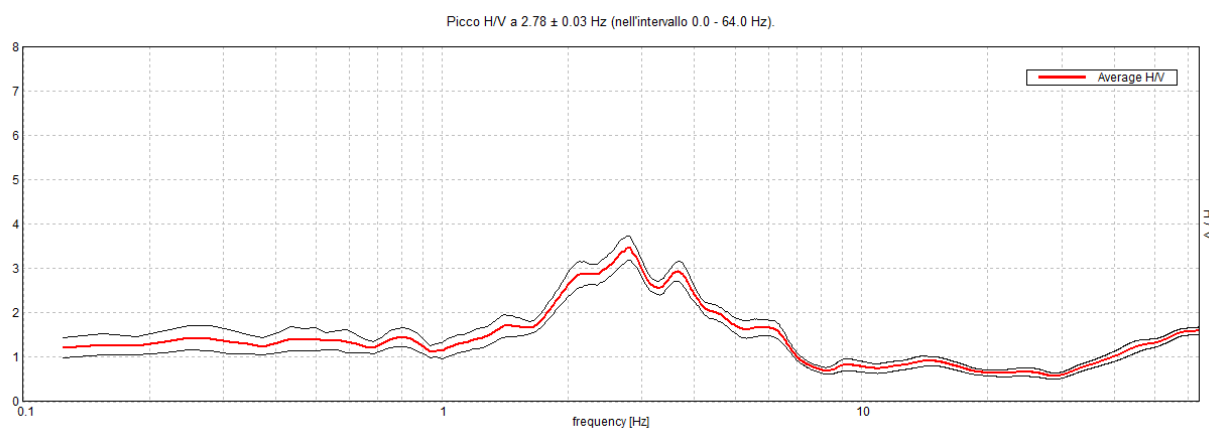


Fig. 10 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale della misura tromografica

Amplificazione topografica

La morfologia caratterizzata da un versante che assume una pendenza media $<15^\circ$, permette di attribuire l'area di indagine alla categoria topografica T1 (Tab. 5), per la quale possono essere esclusi fenomeni di amplificazione di tipo topografico (Tab. 6).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tab. 5 - Categorie topografiche (da NTC2008 tabella 3.2.IV)



Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tab. 6 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (da NTC2008 tabella 3.2. VI)

7. PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame

latitudine: 44,49402°
Classe: 2

longitudine: 10,60508°
Vita nominale: 50

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Periodo di riferimento: 50 anni

Categoria topografica: T1
Coefficiente c_u : 1

<i>stato limite</i>	<i>Pvr</i>	<i>Tr</i> (anni)	<i>ag</i> (g)	<i>F₀</i>	<i>Tc*</i> (s)	<i>Ss</i>	<i>Cc</i>	<i>St</i>	<i>kh</i>	<i>kv</i>	<i>Amax</i> (g)	<i>β_s</i>
SLO	81%	30	0.054	2.490	0.248	1.50	1.663	1.0	0.016	0.008	0.081	0.20
SLD	63%	50	0.067	2.492	0.262	1.50	1.634	1.0	0.020	0.010	0.101	0.20
SLV	10%	475	0.158	2.483	0.287	1.46	1.585	1.0	0.056	0.028	0.231	0.24
SLC	5%	975	0.199	2.494	0.296	1.40	1.569	1.0	0.067	0.033	0.279	0.24

Tab. 7 – parametri sismici

SLO = Stato Limite di Operatività

SLD = Stato Limite di Danno

SLV = Stato Limite di salvaguardia della Vita

SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso

Pvr = probabilità di superamento nel periodo di rif.to

Tr = periodo di ritorno

ag = accelerazione orizzontale massima del terreno

F_0 = fattore di amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

Tc^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica funzione della categoria del sottosuolo

Cc = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo per la definizione del periodo di inizio del tratto costante dello spettro elastico di risposta

St = coefficiente di amplificazione topografica

kh = coefficiente sismico orizzontale

kv = coefficiente sismico verticale

Amax = accelerazione massima attesa al sito

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.



8. CONCLUSIONI

Lo studio effettuato consente di trarre le seguenti conclusioni:

- a) l'area di intervento è caratterizzata dall'affioramento in superficie di depositi gravitativi attivi, in ricoprimento di depositi fini limosi e di un substrato roccioso attribuibile alla Formazione di Monte Venere;
- b) la stabilità complessiva dell'area è subordinata al buon funzionamento delle opere di bonifica idrogeologica realizzate nel tempo;
- c) le opere di raccolta delle acque meteoriche e gli scarichi in uscita dal fabbricato in progetto dovranno essere realizzati a regola d'arte, evitando la dispersione nel sottosuolo di acque reflue non trattate ed evitando l'infiltrazione di acque piovane nel terreno a ridosso delle fondazioni;
- d) l'intervento in progetto non andrà ad alterare la stabilità dei luoghi, non comporterà alterazioni idrogeologiche e non presenta controindicazioni di carattere geoambientale;
- e) la zona sismica di riferimento è la **"zona 3"** e il sottosuolo di fondazione può essere attribuito alla **categoria "C"**;
- f) la determinazione della resistenza dei terreni, necessaria per la verifica in termini di collasso per carico limite del complesso terreno-fondazione, dovrà essere effettuata secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 *"Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni"*, con riferimento sia a condizioni statiche che dinamiche;
- g) sotto il profilo sismico gli effetti locali sono rappresentati dalla possibile amplificazione del segnale sismico, conseguente alla presenza di depositi con velocità delle onde di taglio (V_s) inferiori a 800 m/s, mentre l'assetto litostratigrafico permette di escludere potenziali fenomeni di liquefazione, ovvero di diminuzione della resistenza al taglio causata dall'aumento di pressione interstiziale durante il verificarsi di un evento sismico.

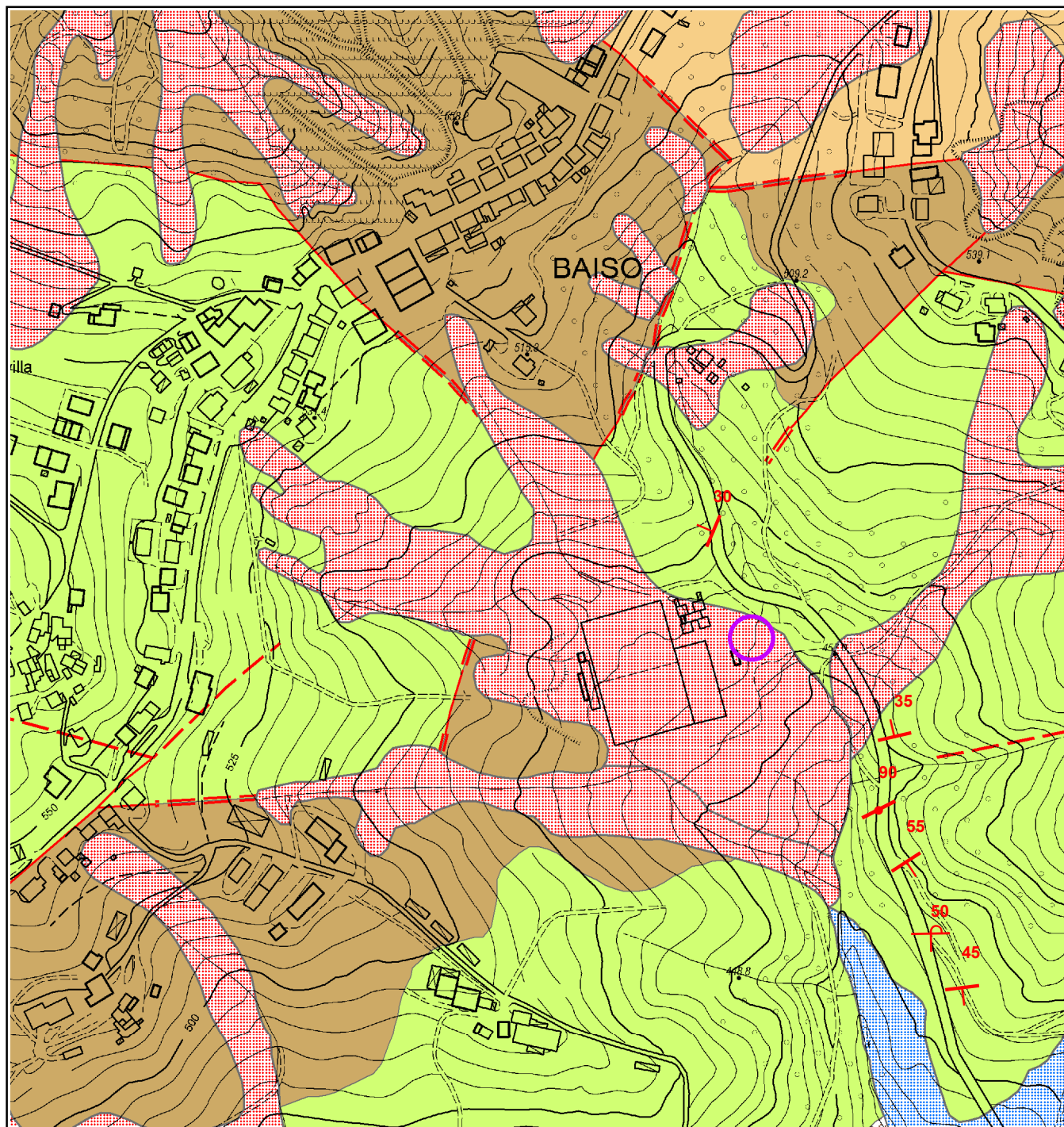
Nel rispetto di quanto sopra esposto si dichiara l'area idonea, sotto il profilo geologico, idrogeologico e sismico alla realizzazione dell'intervento come da progetto.

Basilicanova, dicembre 2017



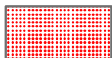











Il Geologo

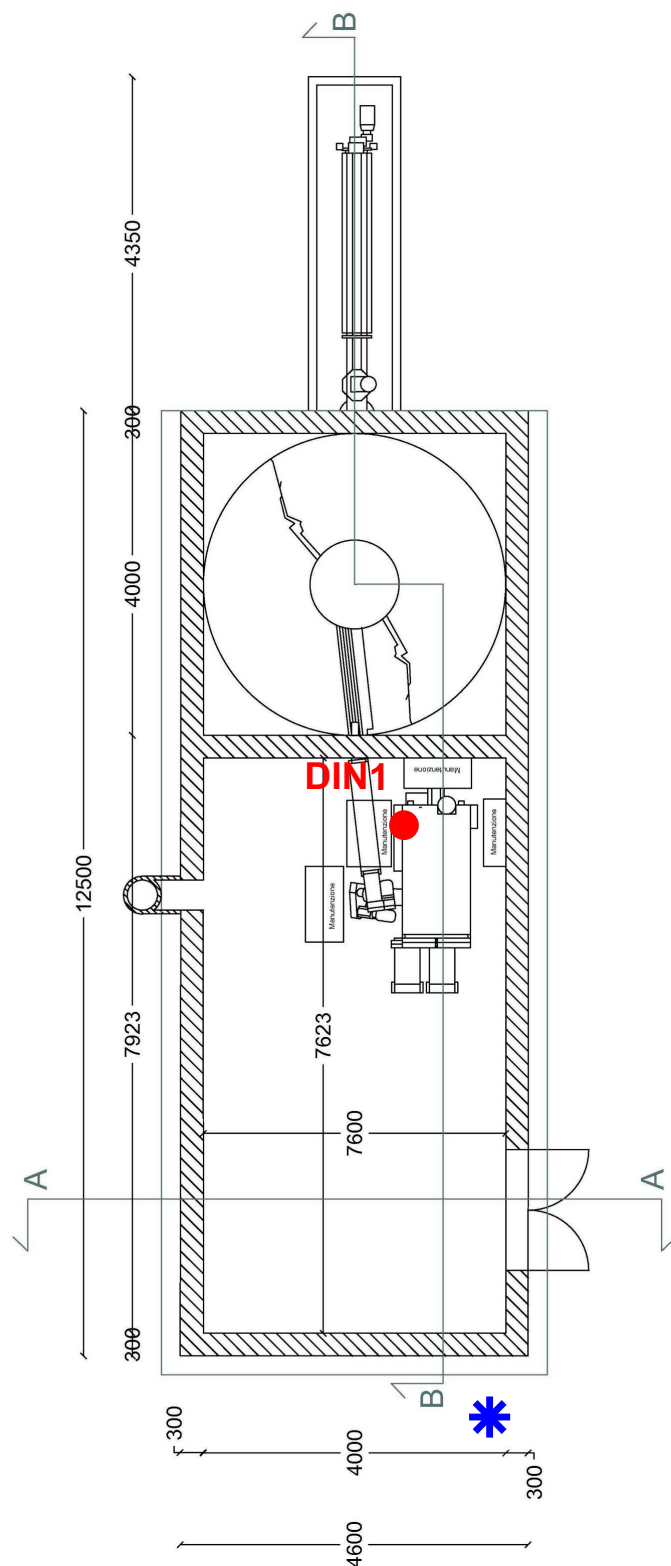
dott. Stefano Castagnetti



TAV. 1 - CARTA GEOLOGICA (SCALA 1:5.000)

Legenda

	Depositi di frana attiva		Strati dritti
	Depositi di frana quiescente		Strati verticali
	Formazione di Ranzano Membro di Varano de' Melegari		Strati rovesciati
	Formazione di Monte Venere		Faglia certa
	Brecce argillose di Baiso		Faglia incerta
			Faglia sepolta
			Area di intervento



TAV. 2 - PLANIMETRIA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE (scala 1:100)

LEGENDA

- Prova penetrometrica dinamica
- ✱ Indagine sismica con sismografo



Allegato n° 1

Prova penetrometrica dinamica

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **DM-30 (60°)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : **DM-30 (60°)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 13,60 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 35,70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 10,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 2,40 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,10$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(10) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 6,00 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 0,766$ (teoricamente : Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : Comune Baiso (RE)
 - lavoro : Progetto centrale a cippato
 - località : Baiso
 - note :

- data : 20/12/2017
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : 3,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,10	----	----	----	1	4,00 - 4,10	17	55,0	----	5
0,10 - 0,20	----	----	----	1	4,10 - 4,20	10	32,4	----	5
0,20 - 0,30	----	----	----	1	4,20 - 4,30	16	51,8	----	5
0,30 - 0,40	----	----	----	1	4,30 - 4,40	10	32,4	----	5
0,40 - 0,50	15	58,7	----	1	4,40 - 4,50	9	29,1	----	5
0,50 - 0,60	10	39,1	----	1	4,50 - 4,60	14	45,3	----	5
0,60 - 0,70	27	105,7	----	1	4,60 - 4,70	14	45,3	----	5
0,70 - 0,80	9	35,2	----	1	4,70 - 4,80	12	38,8	----	5
0,80 - 0,90	6	22,3	----	2	4,80 - 4,90	9	27,9	----	6
0,90 - 1,00	5	18,6	----	2	4,90 - 5,00	9	27,9	----	6
1,00 - 1,10	4	14,9	----	2	5,00 - 5,10	11	34,1	----	6
1,10 - 1,20	4	14,9	----	2	5,10 - 5,20	10	31,0	----	6
1,20 - 1,30	5	18,6	----	2	5,20 - 5,30	12	37,2	----	6
1,30 - 1,40	4	14,9	----	2	5,30 - 5,40	13	40,3	----	6
1,40 - 1,50	3	11,2	----	2	5,40 - 5,50	20	62,1	----	6
1,50 - 1,60	7	26,0	----	2	5,50 - 5,60	14	43,4	----	6
1,60 - 1,70	8	29,8	----	2	5,60 - 5,70	10	31,0	----	6
1,70 - 1,80	3	11,2	----	2	5,70 - 5,80	9	27,9	----	6
1,80 - 1,90	2	7,1	----	3	5,80 - 5,90	10	29,8	----	7
1,90 - 2,00	3	10,6	----	3	5,90 - 6,00	10	29,8	----	7
2,00 - 2,10	3	10,6	----	3	6,00 - 6,10	16	47,7	----	7
2,10 - 2,20	5	17,7	----	3	6,10 - 6,20	12	35,8	----	7
2,20 - 2,30	4	14,2	----	3	6,20 - 6,30	12	35,8	----	7
2,30 - 2,40	3	10,6	----	3	6,30 - 6,40	49	146,0	----	7
2,40 - 2,50	3	10,6	----	3	6,40 - 6,50	73	217,5	----	7
2,50 - 2,60	7	24,8	----	3	6,50 - 6,60	13	38,7	----	7
2,60 - 2,70	7	24,8	----	3	6,60 - 6,70	15	44,7	----	7
2,70 - 2,80	9	31,9	----	3	6,70 - 6,80	12	35,8	----	7
2,80 - 2,90	10	33,8	----	4	6,80 - 6,90	13	37,3	----	8
2,90 - 3,00	7	23,7	----	4	6,90 - 7,00	15	43,0	----	8
3,00 - 3,10	6	20,3	----	4	7,00 - 7,10	10	28,7	----	8
3,10 - 3,20	6	20,3	----	4	7,10 - 7,20	11	31,5	----	8
3,20 - 3,30	7	23,7	----	4	7,20 - 7,30	15	43,0	----	8
3,30 - 3,40	9	30,5	----	4	7,30 - 7,40	29	83,1	----	8
3,40 - 3,50	17	57,5	----	4	7,40 - 7,50	25	71,7	----	8
3,50 - 3,60	15	50,8	----	4	7,50 - 7,60	30	86,0	----	8
3,60 - 3,70	11	37,2	----	4	7,60 - 7,70	33	94,6	----	8
3,70 - 3,80	9	30,5	----	4	7,70 - 7,80	32	91,7	----	8
3,80 - 3,90	11	35,6	----	5	7,80 - 7,90	32	88,3	----	9
3,90 - 4,00	8	25,9	----	5	7,90 - 8,00	45	124,2	----	9

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**- M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,00 cm²** - D(diam. punta)= **35,70 mm**- Numero Colpi Punta N = N(**10**) [δ = 10 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

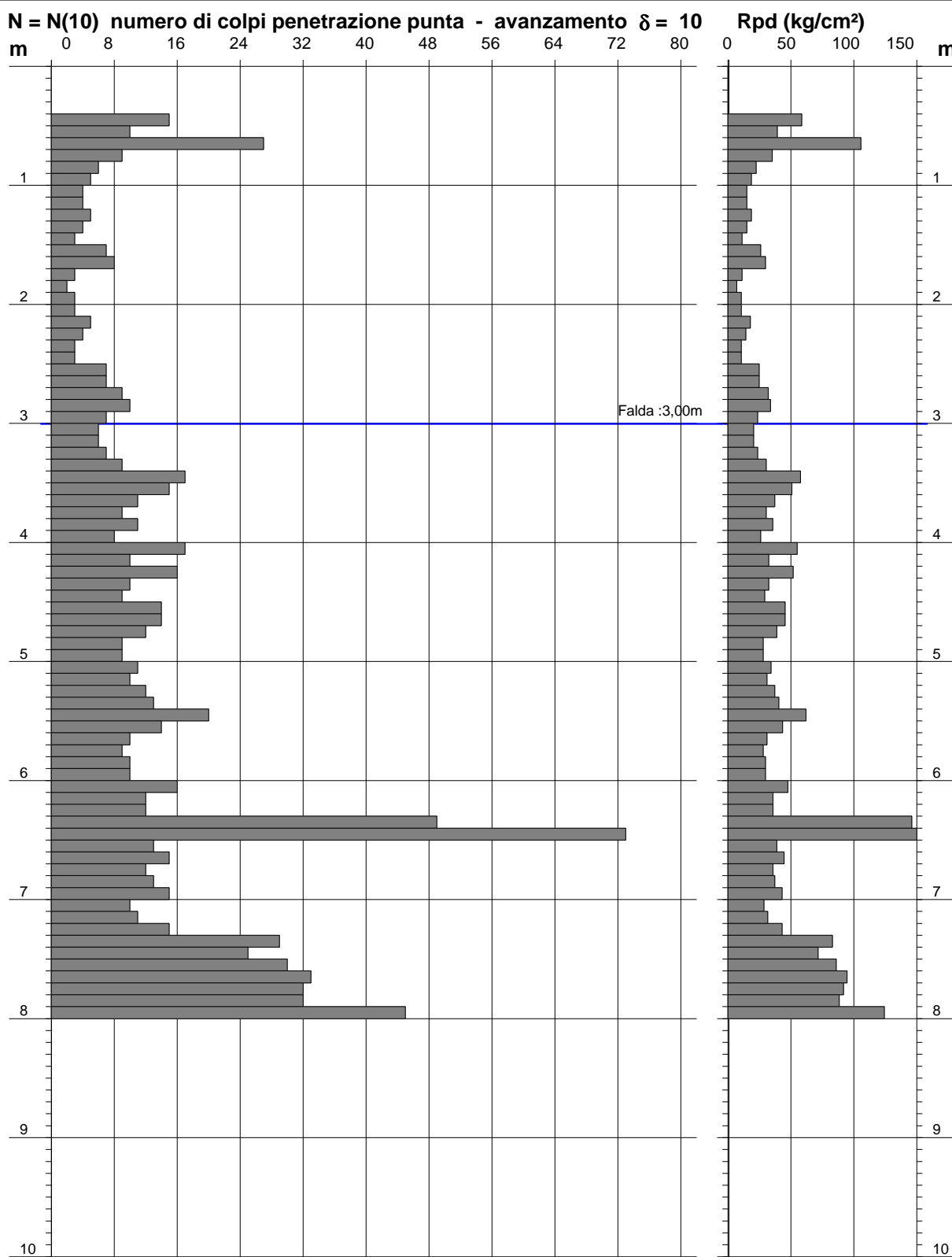
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

- committente : Comune Baiso (RE)
- lavoro : Progetto centrale a cippato
- località : Baiso
- note :

- data : 20/12/2017
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : 3,00 m da quota inizio
- pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

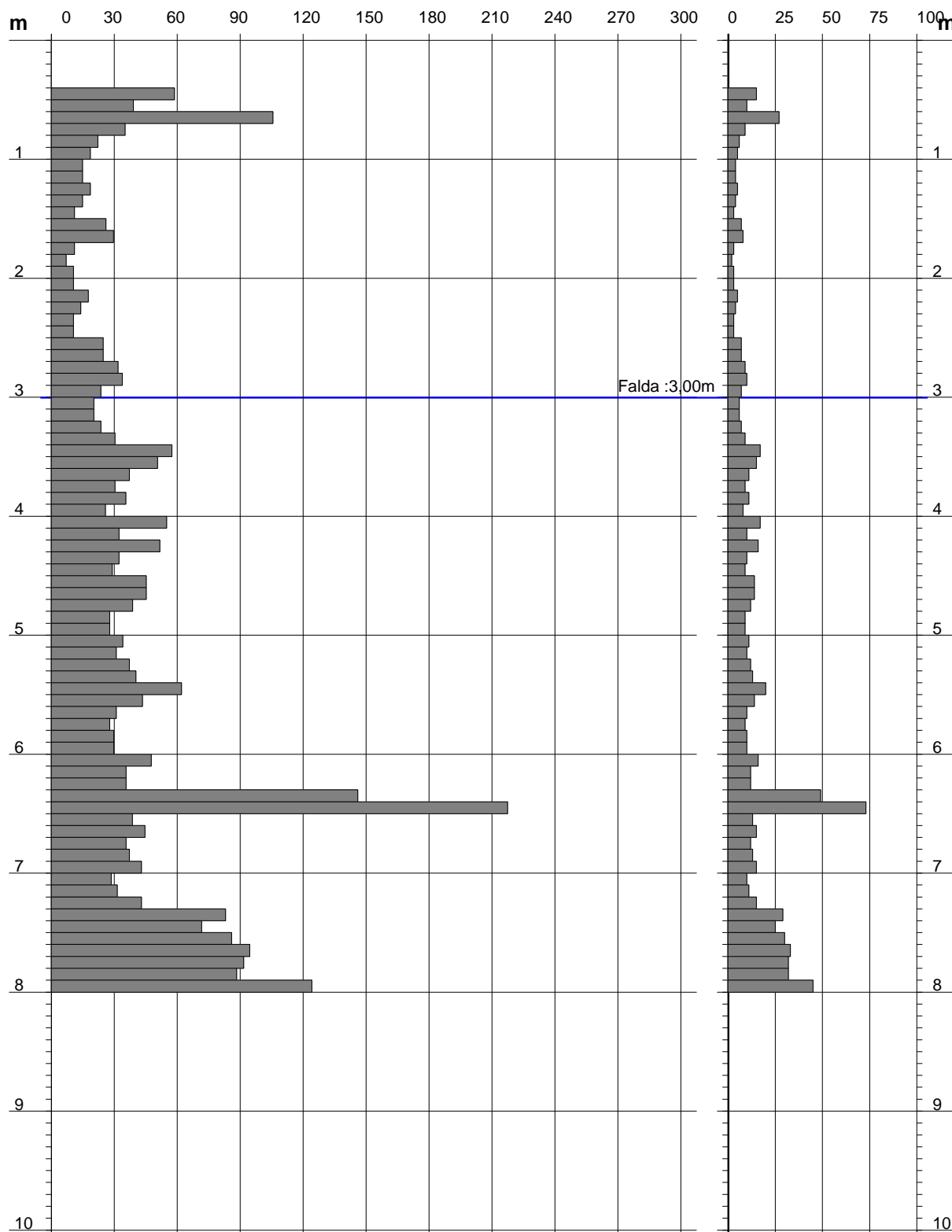
DIN 1
Scala 1: 50

- committente : Comune Baiso (RE)
- lavoro : Progetto centrale a cippato
- località : Baiso

- data : 20/12/2017
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : 3,00 m da quota inizio

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(10) n°colpi $\delta = 10$





Allegato n° 2

**Prospezione sismica con tecnica
HVSR a stazione singola**

BAISO - CENTRALE A CIPPATO

Strumento: TRZ-0189/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 20/12/17 11:31:14 Fine registrazione: 20/12/17 11:47:14

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

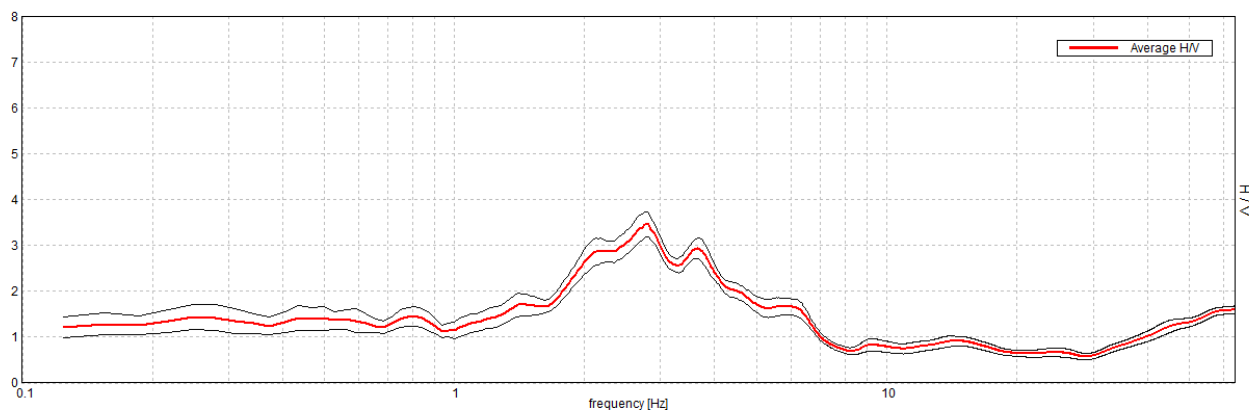
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

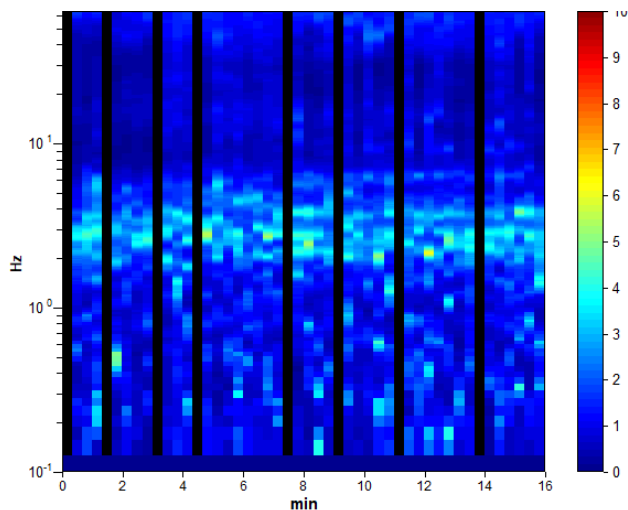
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

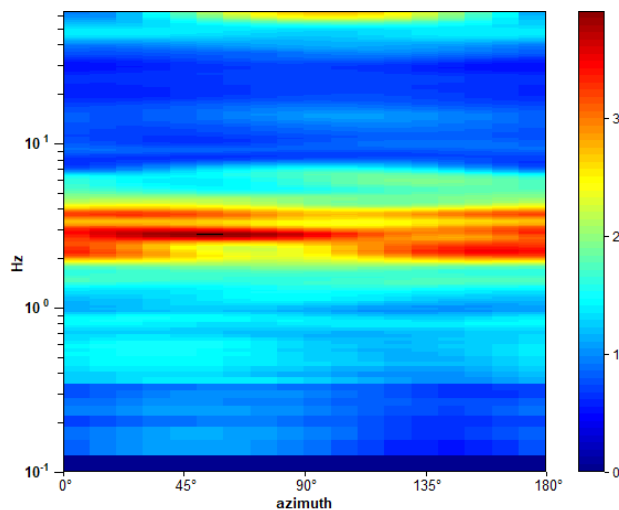
Picco H/V a 2.78 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



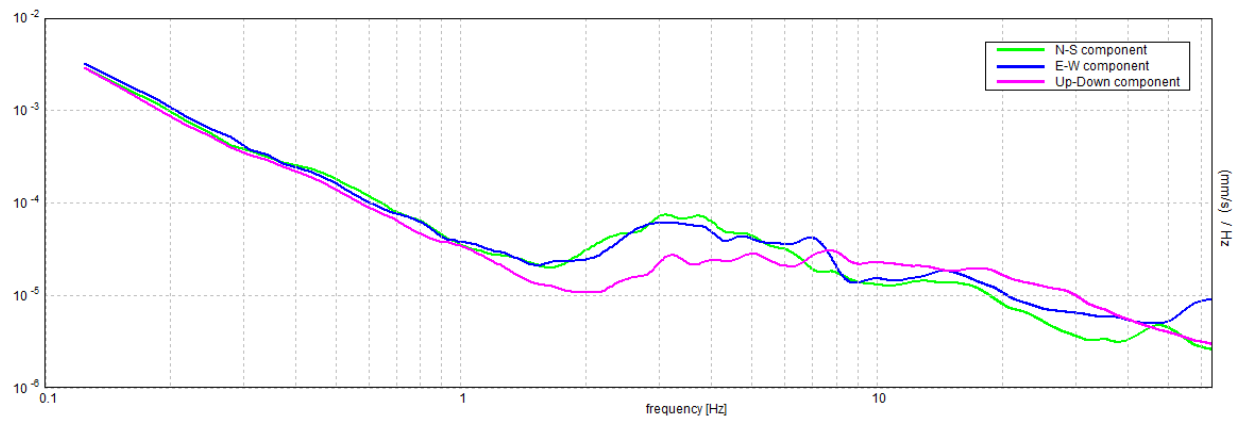
SERIE TEMPORALE H/V



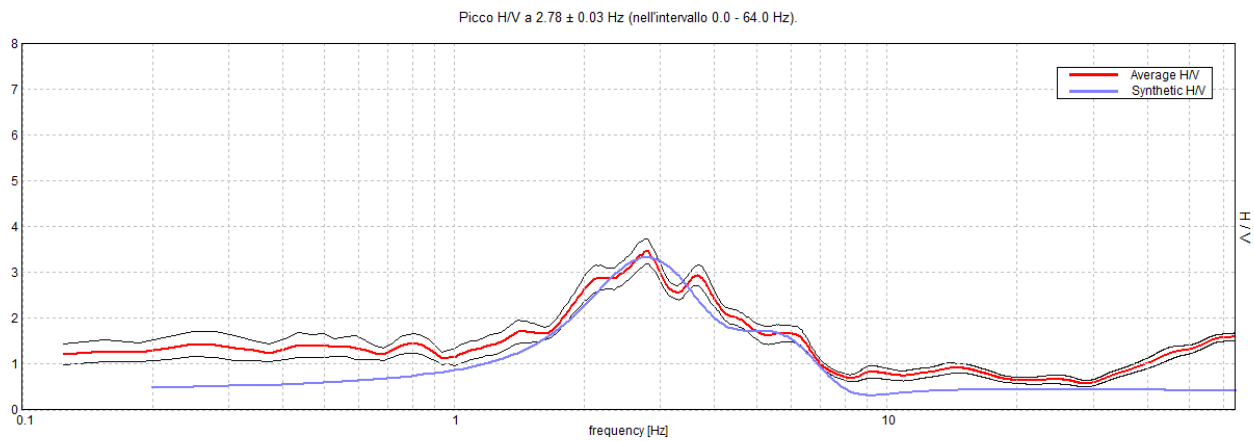
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

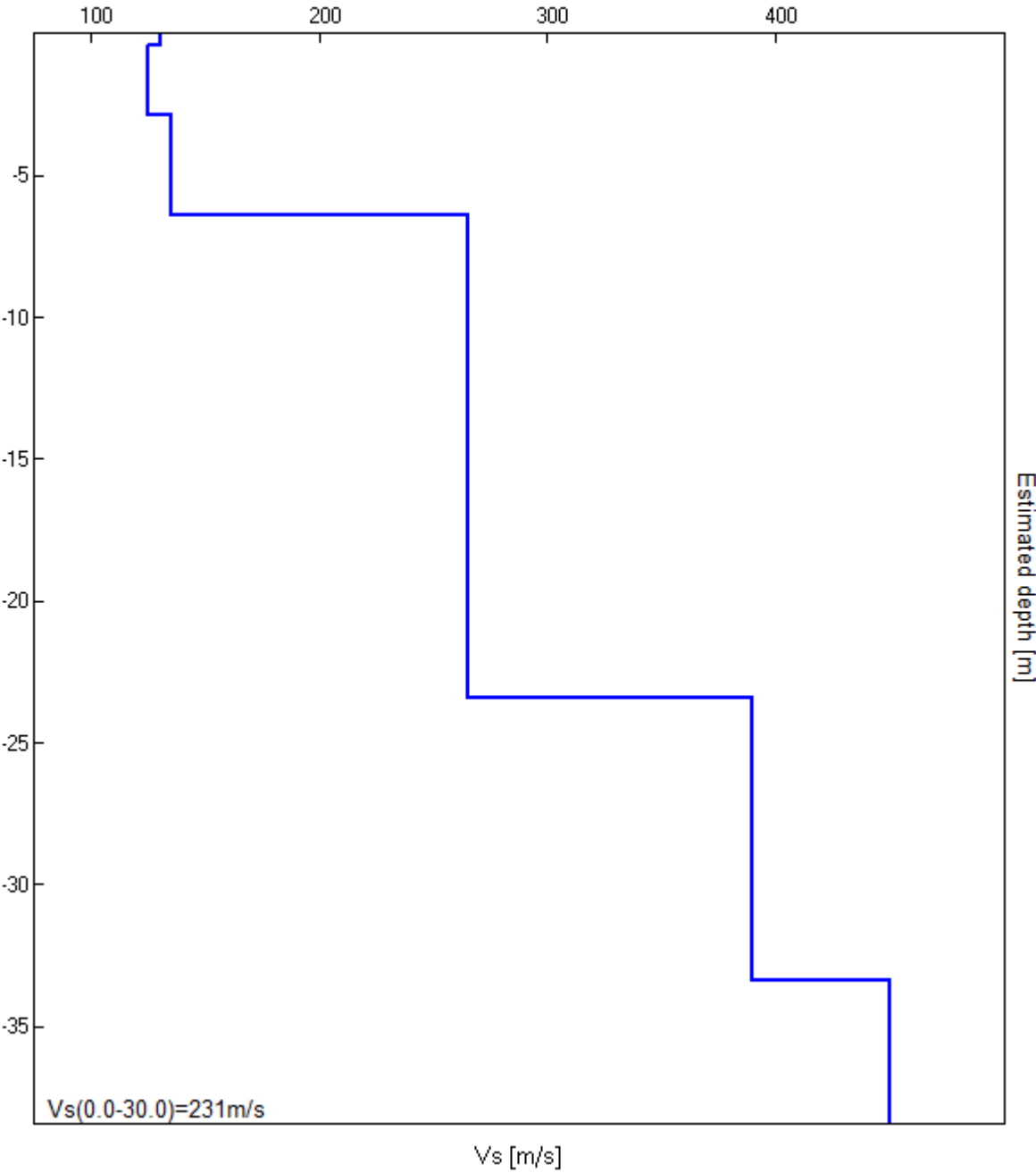


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.40	0.40	130	0.42
2.90	2.50	125	0.42
6.40	3.50	135	0.42
23.40	17.00	265	0.39
33.40	10.00	390	0.38
inf.	inf.	450	0.38

$Vs(0.0-30.0)=231\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 2.78 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2225.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 134	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.656 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.46 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01081 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03006 < 0.13906$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2756 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20