

COMUNE DI CASINA

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA
REGIONE EMILIA ROMAGNA

LAVORO:

AREA ATR15

LOCALITÀ BELEO

TITOLO:

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMESSA N°

G 1 4 G A 0 1 8

DATA

MARZO 2014

ELABORATO

R G 0 1 A

ESTENSORE:



Dott. Geol. Giancarlo Bonini

Dott. Geol. Sergio Guidetti

COMMITTENTE:

Sig. Mistrali Domenico

INDICE

A. Premessa	4
A.1 Normative di riferimento	4
A.2 Localizzazione del sito	5
B. Inquadramento programmatico	6
C. Inquadramento geologico ed idrogeologico	7
C.1 Quadro geologico	7
C.2 Stratigrafia	7
C.2.1 ANT - Marne di Antognola	8
C.2.2 RAN3 - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari	8
C.2.3 MCS - Flysch di Monte Cassio	8
C.2.4 AVV - Argille Varicolori di Cassio	8
C.2.5 Depositi quaternari continentali	8
C.3 Aspetti geomorfologici	9
C.4 Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi	11
D. Dati geognostici	11
D.1 Indagini geognostiche	11
D.1.1 Prove penetrometriche dinamiche (DSPH-DIN)	12
D.1.2 Prove penetrometriche statiche (CPT).	12
D.1.2.1 Grafici prova CPT2	13
D.1.2.1 Grafici prova CPT3	14
D.1.3 Prova sismica tipo HV	15
D.1 Schema litologico e modello geologico-tecnico	16
D.2 Parametri meccanici	18
D.2.1 Coesione non drenata	18
D.2.2 Resistenza al taglio e densità relativa	18
D.2.3 Modulo Edometrico	19
D.2.4 Parametri dell'ammasso roccioso	20
E. Modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione	26
E.1 Sismicità	26
E.1.1 Zonazione sismica e pericolosità	26
E.1.2 Classificazione sismica	27
E.2 Elementi di microzonazione sismica	29
E.2.1 Rischio sismico da PSC di Casina	30
E.2.2 Elementi di Analisi locale di secondo livello	32
E.2.2.1 Il fattore di amplificazione stratigrafico	32
E.2.3 Elementi di Analisi locale di terzo livello	32
E.2.3.1 Definizione del profilo del terreno e della profondità del bedrock sismico	32
E.2.3.2 Definizione del moto di input	33
E.2.3.3 Analisi di risposta sismica locale	33
E.2.4 Valutazione degli effetti topografici	37
F. Requisiti di sicurezza del terreno di fondazione e stabilità globale	38
F.1 Analisi geologica di stabilità del pendio	38
F.1.1 Metodo di calcolo equilibrio limite.	38
F.1.2 Pendio finito	39
F.1.3 Pendio indefinito	39
F.1.4 Condizioni dinamiche	40

F.1.5	Risultati delle verifiche in condizioni statiche e pseudo statiche	41
F.1.6	Analisi di stabilità con metodi dinamici semplificati.	44
G.	Considerazioni finali e giudizio di fattibilità geologico-sismica	46
ALLEGATO 1	Prove penetrometriche statiche e dinamiche	49
ALLEGATO 2	Indagini sismiche passive	54

A. PREMESSA

Per incarico della proprietà è stato eseguito uno studio geologico-simico al fine di verificare la fattibilità geologica inerente l'inserimento nel POC dell'area denominata **ATR15** posta presso loc. Ca' Beleo in comune di Casina (RE) avente una superficie di 2.800 mq circa.

Lo studio svolto ha contemplato:

- Modello geologico di riferimento: in esso vengono descritte le formazioni e le litologie presenti nell'area, l'assetto stratigrafico e strutturale; l'analisi è supportata dalla redazione di una carta geologica;
- Studio geomorfologico di dettaglio costituito da cartografia geomorfologica, analisi dell'acclività, valutazione del rischio di dissesto;
- Indagini geognostiche costituite da Prove penetrometriche statiche (n.1) e dinamiche (1), misure di microtremore sismico (HVSR) per la definizione delle frequenze fondamentali del sito in esame;
- Definizione del modello stratigrafico e caratterizzazione meccanica del sottosuolo ed analisi di fattibilità delle fondazioni;
- Valutazione della risposta sismica locale;
- Analisi sull'esclusione della verifica di liquefazione;
- Verifiche di stabilità delle scarpate;
- Analisi di fattibilità geologica-sismica

Tavole allegate alla relazione:

Tavola 01: Carta geologica. Scala 1:5.000

Tavola 02: Carta geomorfologica. Scala 1:2.000

A.1 Normative di riferimento

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 *Costruzioni in zona sismica*
- D.A.L. 112/2007. *Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, c.1 della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*
- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*
- L.R. 19 del 30.10.2008. *Norme per la riduzione del rischio sismico.*
- D.G.R. 1373/2011. *Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. 19 del 2008 per la riduzione del rischio sismico.*

A.2 Localizzazione del sito

L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 218060 "Leguigno" alla scala 1:10.000, a quote comprese tra 605-615 m slm. Latitudine e longitudine (ED50) valgono rispettivamente 44.5018° e 10.4686°.

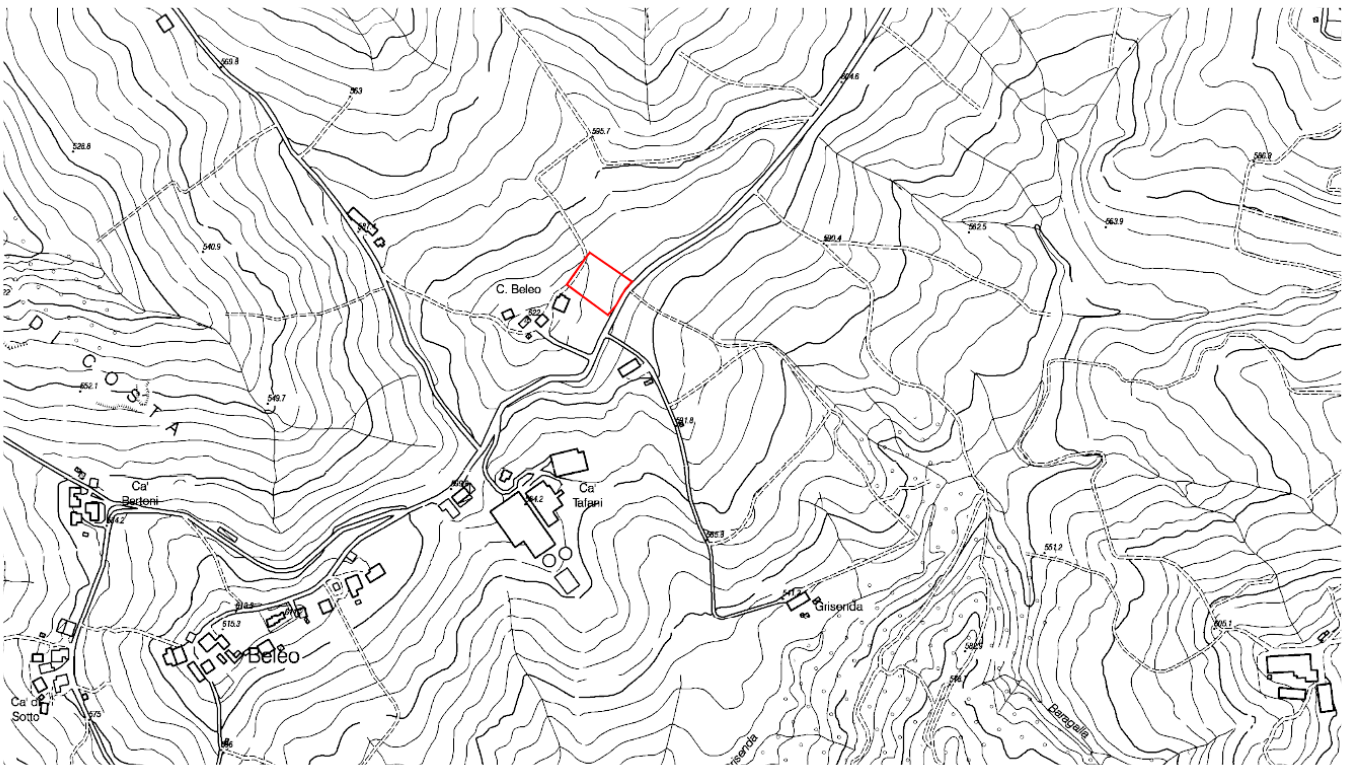


Figura A.1. Ubicazione dell'area su carta CTR (non in scala).



Figura A.2. Ubicazione dell'area su ortofoto AGEA non in scala (dal sito https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=pedologia&bookmark=1)

B. INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO

Di seguito si riporta in sintesi l'inquadramento programmatico per l'area in esame relativo ai principali vincoli e tematiche geologico-geomorfologiche. Le principali cartografie sono riprese e descritte nei relativi paragrafi.

PTCP	Tavola P6	<i>Carta inventario del dissesto (PAI-PTCP) e degli abitati da consolidare e trasferire (L445/1908)"</i>	Esterno alle aree delimitate
	Tavola P7	<i>Carta di delimitazione delle fasce fluviali (PAI-PTCP)</i>	Esterno alle fasce fluviali
	Tavola P9a	<i>Rischio sismico-carta degli effetti attesi</i>	Categoria C (parte) Categoria H (Parte)
	Tavola P9b	<i>Rischio sismico-carta dei livelli di approfondimento</i>	Livello di approfondimento II Livello di approfondimento I
	Tavola 10a	<i>Carta delle tutele delle acque superficiali e sotterranee</i>	Esterna alle aree di protezione
PSC	Tavola P2	<i>Carta delle tutele ambientali, storico-culturali e dei vincoli sovraordinati</i>	Ambito di trasformazione residenziale da regolare con il POC. Sistema dei crinali.
	Tavola P3	<i>Rispetti e limiti all'edificazione</i>	Ambito di trasformazione residenziale da regolare con il POC. Esterno al sistema degli ambiti interessati da rischi naturali.
	Tavola P6	<i>Carta dell'inventario del dissesto</i>	Esterno alle aree perimetrate.
	Tavola P8	<i>Carta delimitazione fasce fluviali</i>	Esterno alle fasce fluviali
	Tavola P9	<i>Aree soggette ad effetti locali</i>	Zona cataclastica, zona di faglia
	Tavola P10	<i>Carta di Microzonazione sismica</i>	5 - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche 11 - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per intensa fratturazione
	Tavola P11	<i>Livelli di approfondimento</i>	livello di approfondimento III
Vincolo idrogeologico		<i>R.D. 3267/23</i>	E' ricompreso nelle aree soggette a vincolo idrogeologico.

C. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

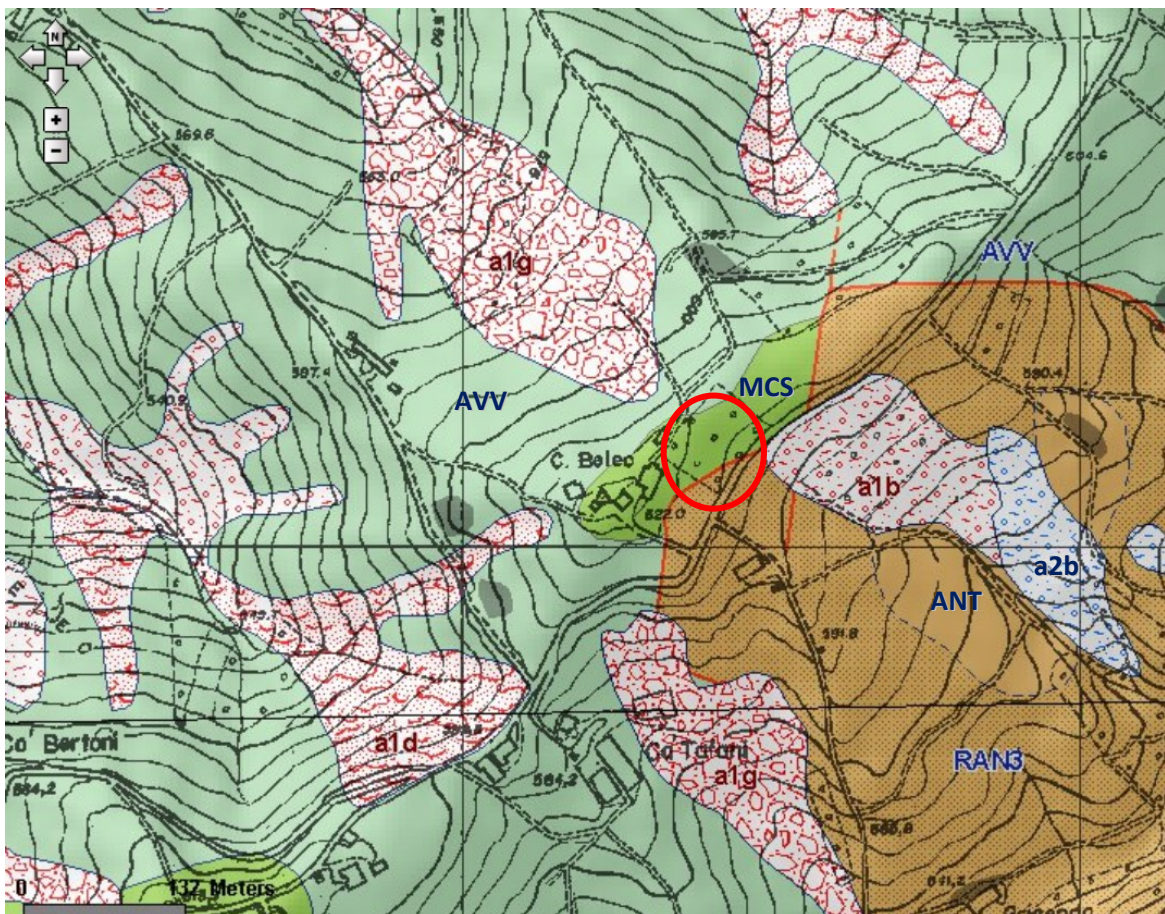
C.1 Quadro geologico

La zona in esame rientra nel Foglio 218 “Castelnuovo né Monti” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: l'area risulta caratterizzata dalla presenza del Flysch di Monte Cassio (MCS) e della Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari (RAN3).

C.2 Stratigrafia

Nell'area in esame affiorano i terreni della successione epiligure ed in particolare la Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari (RAN3) e della successione ligure ed in particolare il Flysch di Monte Cassio (MCS), e le Argille Varicolori di Cassio (AVV). Il contatto tra MCS – RAN3 – AVV è di natura tettonica; l'area è infatti interessata dalla presenza di una faglia.

Le descrizioni delle unità presenti nell'area sono tratte dalle note illustrative disponibili sul sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>; localmente lungo il versante sono cartografati depositi di versante o frane anche essi descritti in seguito sempre sulla base delle note regionali.



Coperture quaternarie (10K)

- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento

Limiti di unità geologiche (10K)

- contatto stratigrafico o litologico certo
- contatto stratigrafico o litologico incerto
- faglia certa
- faglia incerta
- faglia sepolta
- limite di natura incerta

Affioramenti (aree) (10K)

Unità geologiche (10K)

- ANT - Marne di Antognola
- AVV - Argille Varicolori di Cassio
- MCS - Flysch di Monte Cassio
- RAN3 - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari

Figura C.1 Estratto dalla carta geologica del progetto CARG disponibile nel sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>.

C.2.1 *ANT - Marne di Antognola*

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere. Stratificazione difficilmente percepibile. Sono presenti livelli torbiditici di arenarie vulcanoclastiche, arcose e quarzoso-feldspatiche, talora selciose. Localmente presente un orizzonte a slumping (sl).

Localmente è stata distinta la litofacies arenacea (ANTa), caratterizzata dalla presenza di torbiditi arenaceo-pelitici con areniti medio-fini, in strati sottili e medi, e areniti grossolane in strati spessi. Il limite inferiore discordante su RAN, netto su LGR; unità in eteropia con MVT. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 200 m. (*Rupeliano terminale - Burdigaliano inf.*)

C.2.2 *RAN3 - Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari*

Torbiditi arenaceo-pelitici con $A/P < 1$, in strati da sottili a spessi, tabulari o lenticolari; litareniti risedimentate fini o finissime, grigio verdastre, particolarmente ricche di frammenti di rocce carbonatiche, passanti a pelite e pelite marnosa scura. Le peliti possono localmente costituire anche l'intero strato. Nell'area del Foglio 218 sono frequenti gli intervalli caotici, sono presenti anche livelli ricchi di frammenti di serpentinoscisti e altre metamorfiti di alta pressione e strati sottili di vulcanoareniti feldspatiche di composizione andesitica. Passaggio inferiore netto su RAN2. Potenza massima di oltre 600 m. (*Rupeliano medio - sup.*)

C.2.3 *MCS - Flysch di Monte Cassio*

Torbiditi a base calcarenitica fine e media passante a marne calcaree, marne e calcari marnosi grigio-biancastri in strati da spessi a molto spessi, alternate a pacchi di strati torbiditici arenaceo-pelitici da sottili a spessi, grigiastri. Intercalazioni regolari di sottili livelli pelitici grigioverdastri e neri. Contatto inferiore non affiorante o tettonizzato su AVV. Torbiditi e fanghi intrabacinali, in ambiente di piana, sotto la superficie di compensazione dei carbonati. Potenza parziale di un migliaio di metri. (*Campaniano sup. - Maastrichtiano sup.*)

C.2.4 *AVV - Argille Varicolori di Cassio*

Argille e argilliti rosse, violacee, grigio scure e verdastre, fissili, con intercalazioni di strati sottili di arenarie fini e siltiti grigio scure, manganesifere e localmente cloritiche, di calcilutiti silicizzate grigio-verdine e di calcareniti e arenarie litiche e feldspatiche grossolane. Nell'area del Foglio 218 presenti sporadici strati medio-sottili di arenarie a composizione ofiolitica. Nell'area del Foglio 219 presenti intercalazioni lenticolari metriche di breccie a matrice argillosa con clasti di calcilutiti e arenarie non cartografabili. Sedimentazione pelagica intervallata da correnti di torbidità s.l. e flussi concentrati di locale alimentazione insubrica. Contatti per lo più tettonizzati con le formazioni sottostanti; nell'area del Foglio 219 ipotizzata una eteropia con SCB. Potenza geometrica variabile da qualche decina a qualche centinaio di metri. (*Cenomaniano - Campaniano*)

C.2.5 *Depositi quaternari continentali*

a1b – *Deposito di frana attiva per scivolamento*. Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

a1d - *Deposito di frana attiva per colamento di fango*. Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

a1g - *Deposito di frana attiva complessa*. Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento. Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

C.3 Aspetti geomorfologici

L'area in esame si colloca a nord-est dell'abitato di Beleo lungo lo spartiacque tra il Fosso Grisenda a sud est ed il Fosso l'Oriolo a nord ovest, nei pressi di località C. Beleo a quote comprese tra 615-605m s.l.m. Il sito presenta pendenze comprese tra il 10-15%, declinanti verso sud-est, ed acclività del 25% nei versanti adiacenti, posti immediatamente a nord e sud.

L'area in esame risulta esterna ai dissesti censiti nella Tavola P6 del PTCP della Provincia di Reggio Emilia di cui di seguito si riporta un estratto, sebbene siano presenti a nord ovest ed a sud est due frane attive.

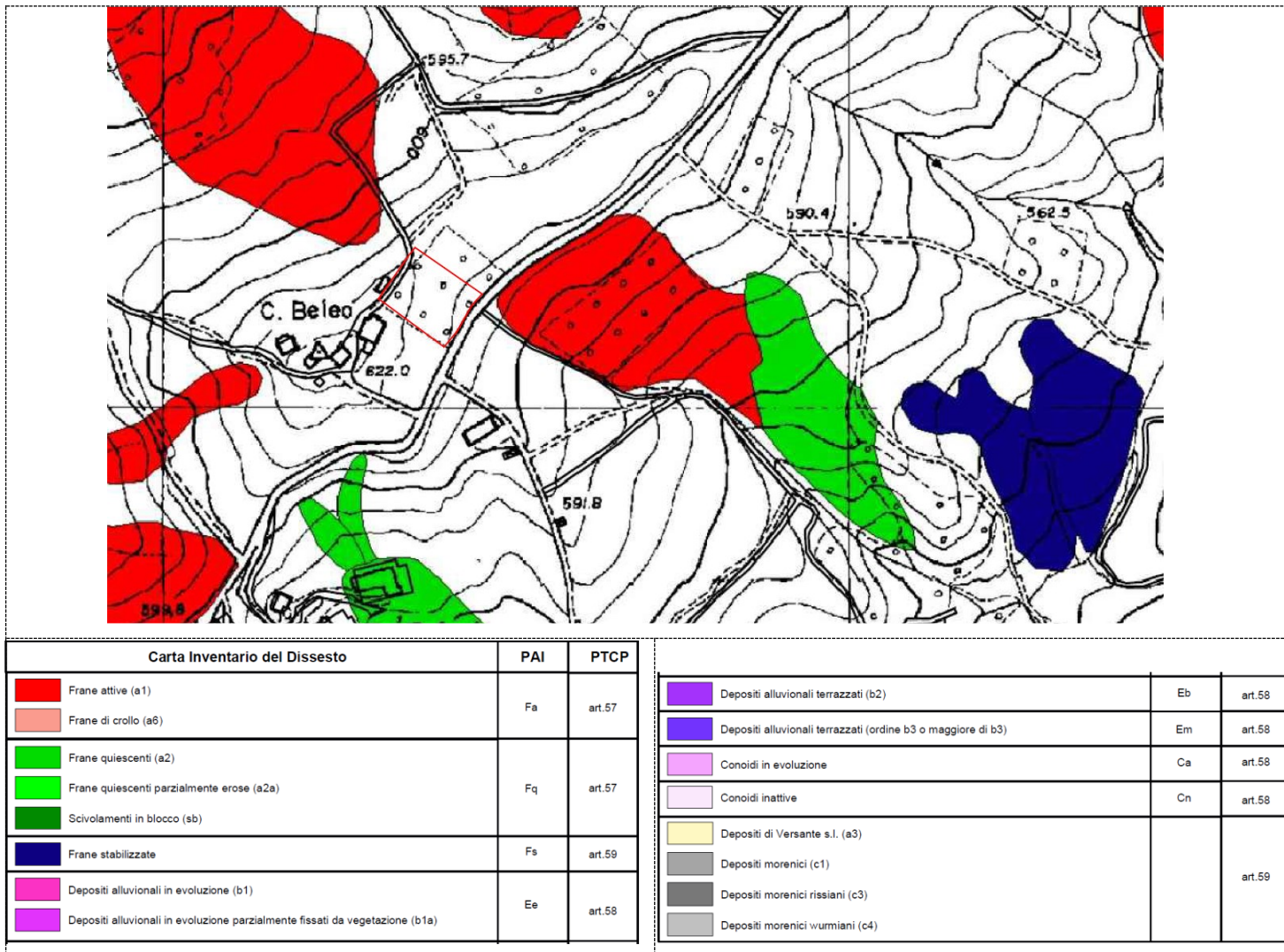


Figura C.2 Estratto dalla tavola P6 "Carta inventario del dissesto" del PTCP della Provincia di Reggio Emilia.

Nella Carta inventario del dissesto P6 del PSC associato dei comuni di Baiso-Canossa-Casina-Vetto-Villaminazzo, di cui di seguito si riporta un estratto, per l'area in esame si evidenzia la presenza dei fenomeni gravitativi attivi posti in prossimità dell'area.

Come riportato anche all'interno delle "Schede analisi di fattibilità geologica-azione sismica, ambiti di nuovo insediamento, da riqualificare, da trasformare – Case Beleo - ambito ATR15" contenute all'interno del PSC, sono presenti a circa 25-35 m a nord est linee di tensione che indicano la tendenza evolutiva in direttrice nord – nord

ovest del corpo di frana attiva presente a sud della strada Beleo – Rovetto; analoghe linee di tensione si riscontrano circa 70 ÷ 80 m ad ovest nord ovest e circa 100 m a sud in direzione di Cà Talami.

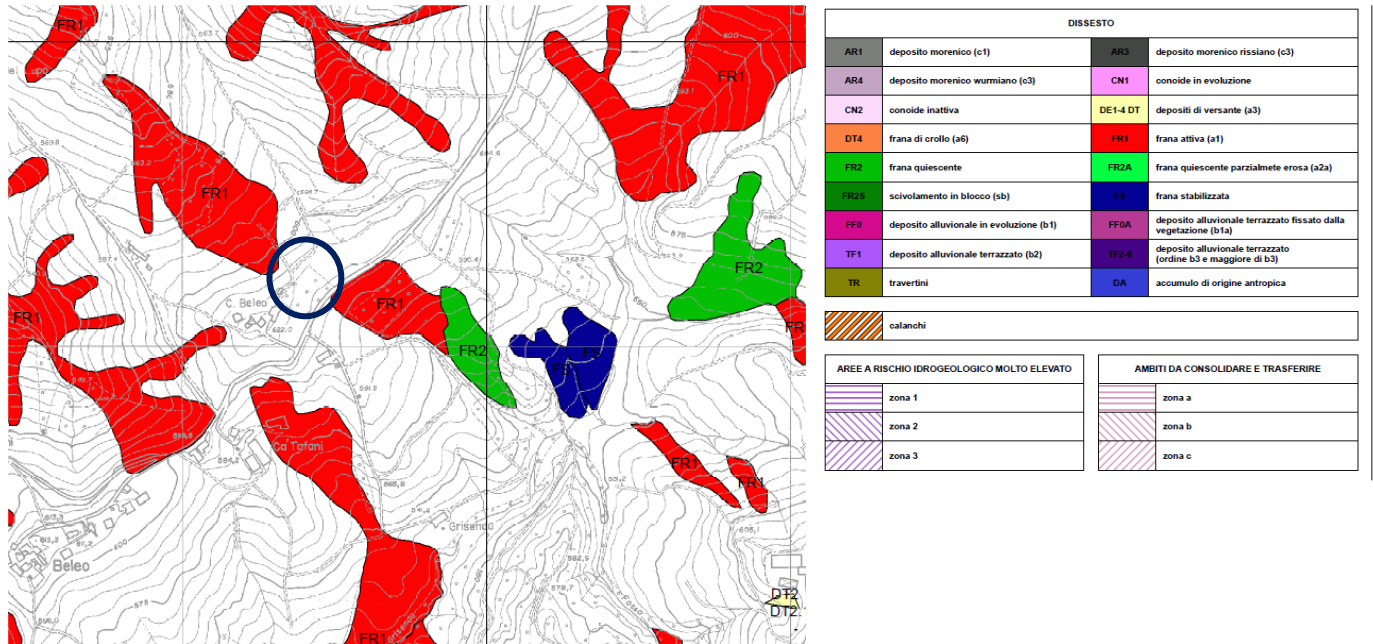


Figura C.3. Estratto dalla "Carta inventario del dissesto"- P6 del PSC associato dei comuni di Baiso-Canossa-Casina-Vetto-Villaminuzzo

All'interno della cartografia del dissesto a cura della Regione Emilia-Romagna e disponibile in rete (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/cartografia-dissesto-idrogeologico>) non sono presenti segnalazioni puntuali nell'area in esame.

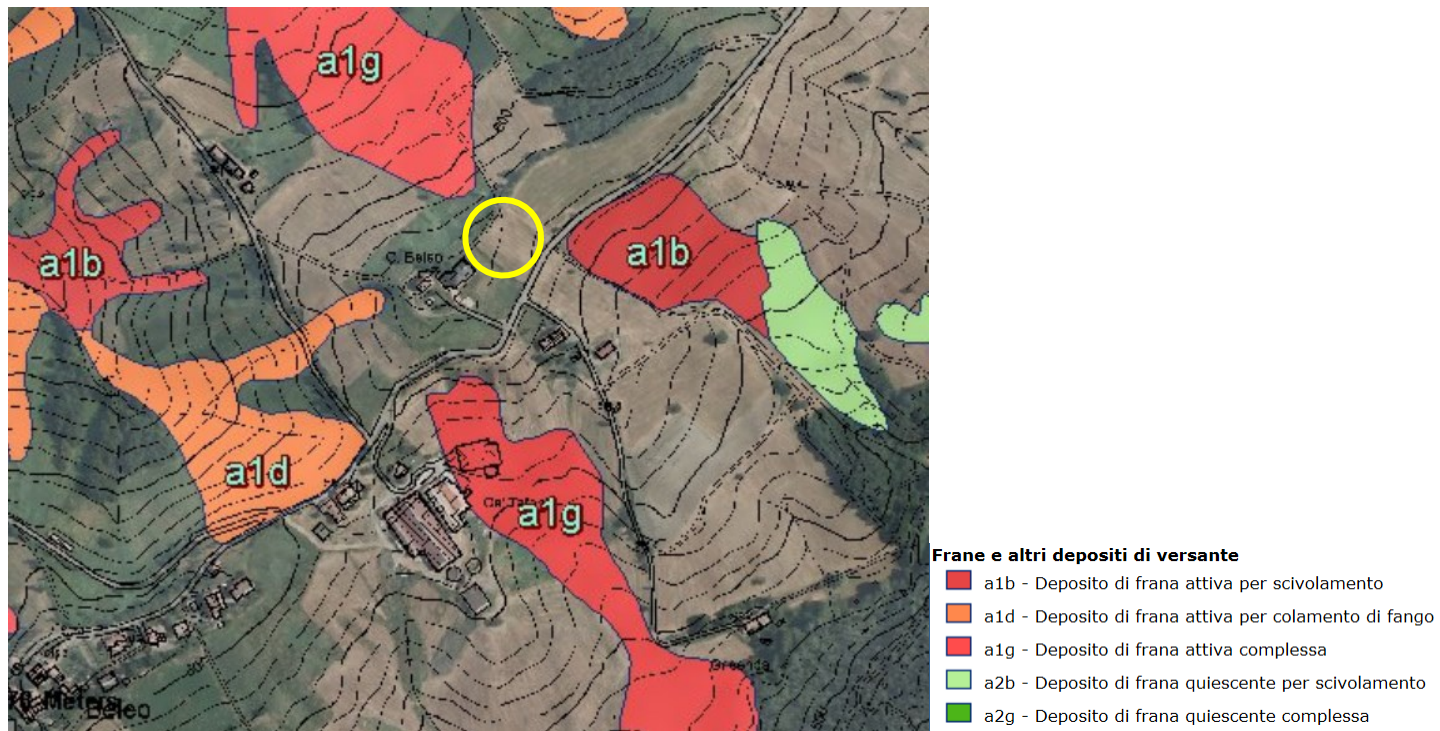


Figura C.4 Estratto dalla "Cartografi del Dissesto" a cura della Regione Emilia-Romagna disponibile in rete

C.4 Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi

Nella Cartografia delle sorgenti ed unità geologiche sede di Acquiferi nell'Appennino emiliano-romagnolo disponibile nel sito della Regione Emilia Romagna, si evidenzia come il sito in esame risulti caratterizzato dall'assenza di "rocce magazzino".

L'area non ricade in prossimità di pozzi o sorgenti captate e relative zone di protezione ed è esterna alle zone di ricarica degli acquiferi.

Durante l'esecuzione delle prove geognostiche è stata reperita acqua nei fori di indagine.

Nella porzione di valle dell'area in esame è stata rilevata la presenza di ristagni di acqua.

Nella tabella seguente si riporta lo schema riassuntivo delle misure effettuate.

SIGLA	TIPO	PROFONDITÀ (m dal p.c.)	SOGGIACENZA FALDA (m dal p.c.)	Note
DSPH1	Prova penetrometrica dinamica	8.2	-2.40	[misura del 18/02/2014]
CPT2	Prova penetrometrica statica	6.2	-2.40	[misura del 18/02/2014]
CPT3	Prova penetrometrica statica	7.8	-2.70	[misura del 03/03/2014]

D. DATI GEOGNOSTICI

D.1 Indagini geognostiche

Per ottenere informazioni relative alla situazione del sottosuolo sono state eseguite una prova penetrometrica dinamica (DSPH), una prova penetrometrica statica (CPT), due prove sismiche tipo HVSR; l'ubicazione delle indagini è riportata nella figura seguente.

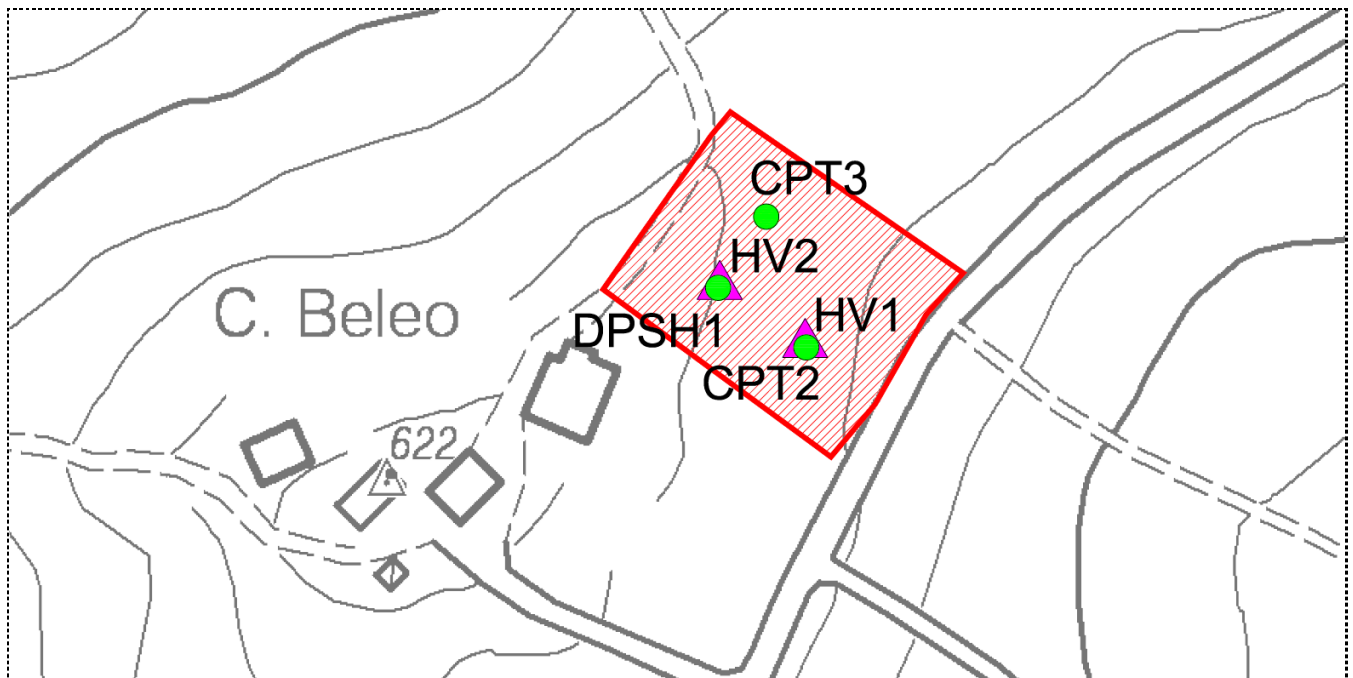


Figura D.1. Ubicazione indagini geognostiche.

SIGLA	TIPO	PROFONDITÀ (m dal p.c.)	SOGGIACENZA FALDA (m dal p.c.)	Note
DSPH1	Prova penetrometrica dinamica	8.2	-2.40	[misura del 18/02/2014]
CPT2	Prova penetrometrica statica	6.2	-2.40	[misura del 18/02/2014]
CPT3	Prova penetrometrica statica	7.8	-2.70	[misura del 03/03/2014]

SIGLA	TIPO	PROFONDITÀ (m dal p.c.)	SOGGIACENZA FALDA (m dal p.c.)	Note
HV1	Misura microtremore			
HV2	Misura microtremore			

Tabella 1. Elenco indagini geognostiche eseguite.

D.1.1 Prove penetrometriche dinamiche (DSPH-DIN)

L'indagine consiste nell'infiggere nel terreno un'asta o una serie di aste con punta conica o con curretta. Il sistema d'infissione è costituito da un maglio che batte sulle aste; il dato rilevato è il numero di colpi che occorre per abbassare il sistema aste/punta di 20 cm nel terreno. Si ottengono così diagrammi che discretizzano il sottosuolo in livelli di 20 cm per l'intera profondità d'indagine. Frequentemente, come in questo caso, si interrompe la prova quando il numero dei colpi diventa particolarmente elevato vicino al rifiuto ($n \geq 50$). In allegato sono riportati i valori del numero di colpi N in funzione della profondità. Per il calcolo dei parametri geomeccanici, i valori d'infissione relativi all'avanzamento di 20 cm, sono stati trasformati in valori d'infissione della prova standard (Nspt), per mezzo di coefficienti noti in bibliografia.

D.1.2 Prove penetrometriche statiche (CPT).

Le prove penetrometriche statiche consistono nell'infiggere nel terreno la punta e misurare la resistenza che oppone il terreno alla penetrazione. E' opportuno sottolineare che le prove penetrometriche, così come sono state eseguite, permettono di ottenere la resistenza di punta (q_c o R_p) e la resistenza laterale (q_s o R_l). Tramite i valori di q_c e q_s è possibile ricavare informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche meccaniche del terreno. I valori di resistenza alla punta **qc** e di resistenza laterale **qs** delle prove penetrometriche statiche hanno permesso di eseguire una interpretazione litologica puntuale ogni 20 cm di spessore del terreno. Per tale caratterizzazione sono state utilizzate, le classificazioni proposte dalle Raccomandazioni A.G.I (1977)¹ e da Begemann (1965)² sulla base del rapporto F e quelle proposte da Schmertmann (1978)³ e da Robertson-Campanella (1983)⁴ in base al valore del rapporto di resistenza (friction ratio) Fr correlato con la resistenza alla punta q_c .

Le letture di campagna ed i tabulati dei calcoli per i relativi parametri geomeccanici ricavabili dalle prove eseguite sono riportati in allegato.

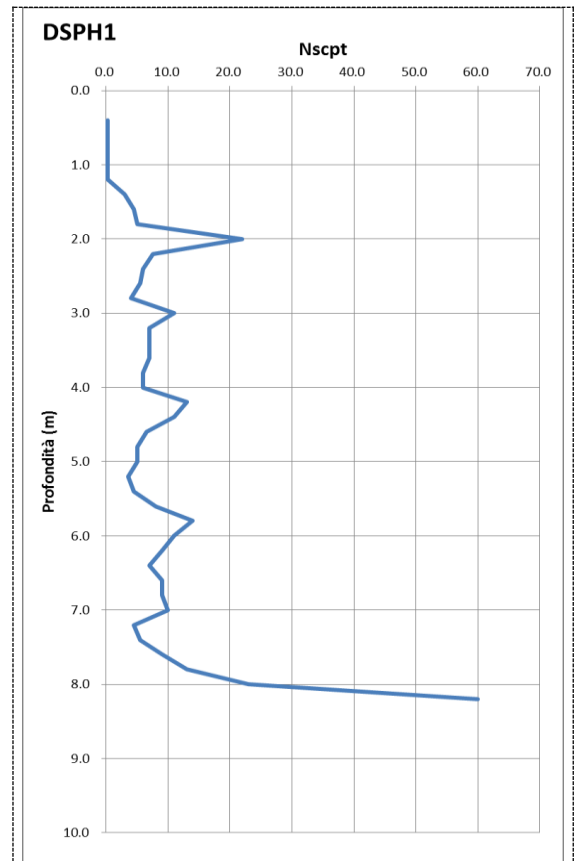


Figura D.2. Variazione di Nspt in funzione della profondità

¹ Associazione Geotecnica Italiana (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"

² Begeman H.K. (1965) "The fiction racket cone as an aid in determinig the soil profile" Proc. 6th ICSMFE, V.1, 17-20

³ Schmertmann, J.H. (1978) "Guidelines for Cone Penetration Test performance and design" U.S. Department of Trasportation, Federal Higway Administration, Report no. FHWA-TS-78-209, Washington, D.C. 145p.

⁴ Robertson, P.K., and R.G. Campanella, 1989. "Design Manual for Use of CPT and CPTU", University of British Columbia, BC, 200p,

D.1.2.1 Grafici prova CPT2

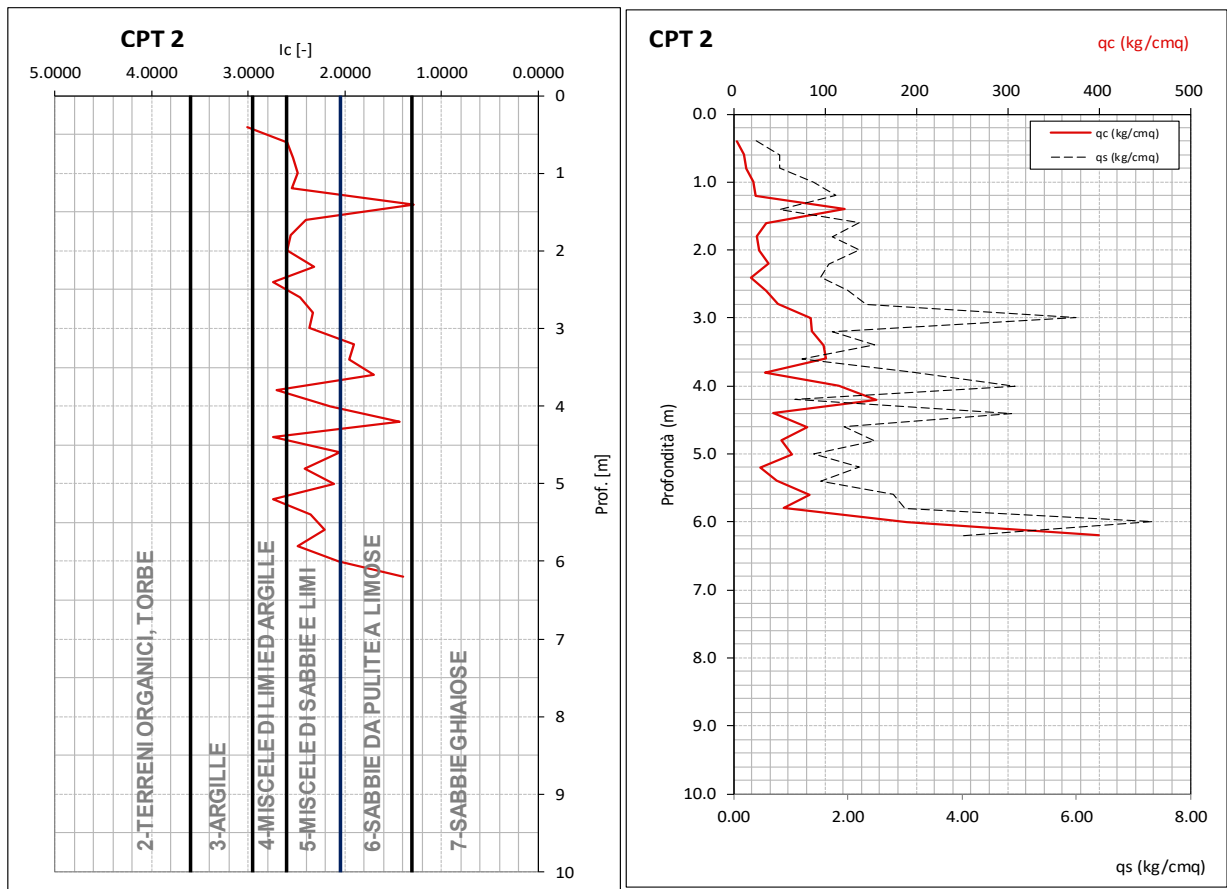


Figura D.3. Variazione q_c e q_s in profondità e classificazione terreni sulla base del parametro I_c (Robertson, 1990) per la prova CPT2

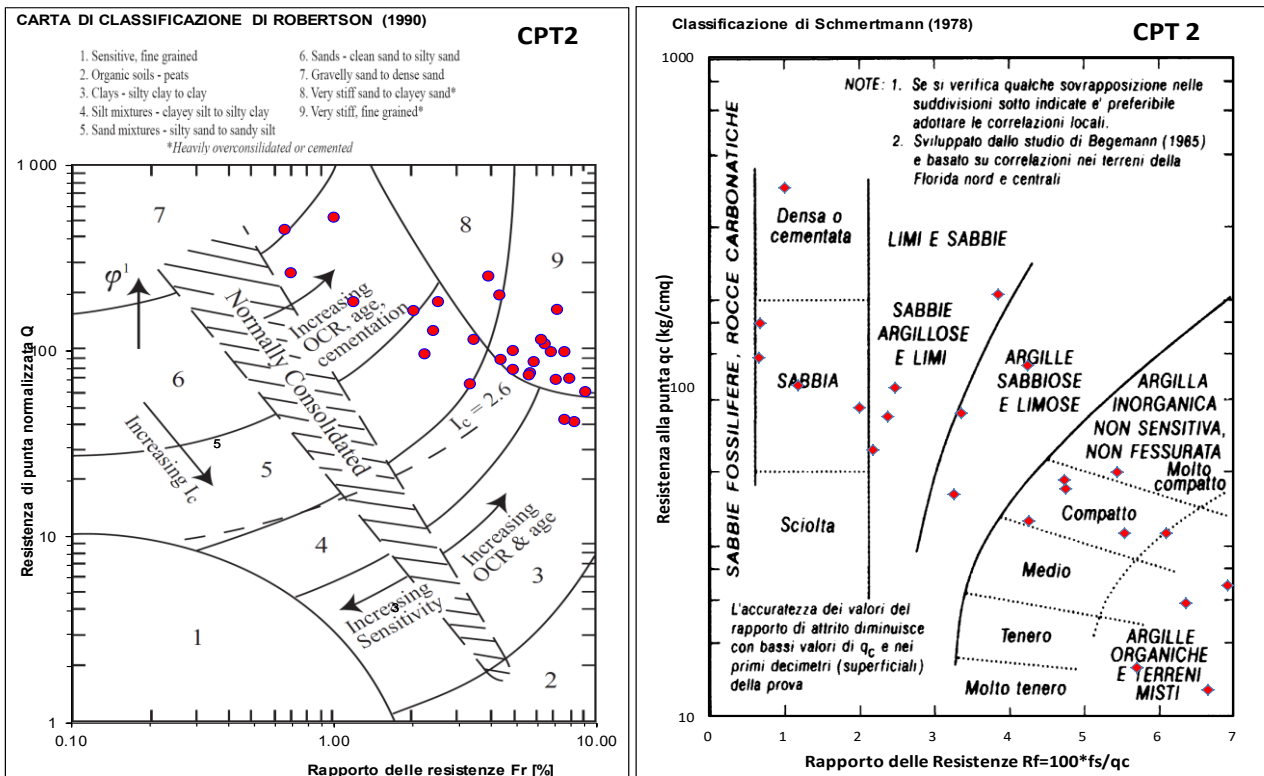


Figura D.4. Classificazioni litologiche secondo Robertson (1990) e Schmertmann (1978) per la prova CPT2.

D.1.2.1 Grafici prova CPT3

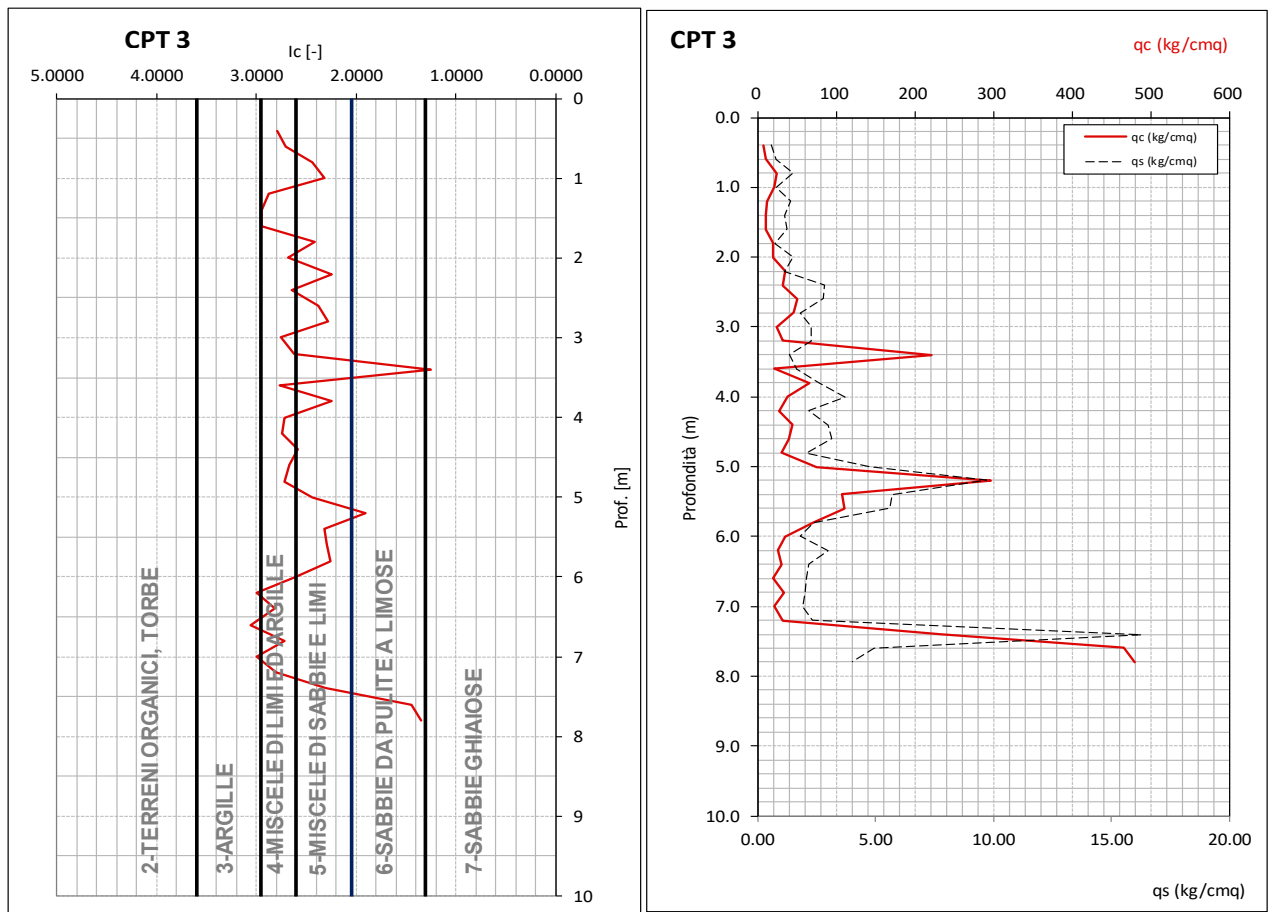


Figura D.5. Variazione q_c e q_s in profondità e classificazione terreni sulla base del parametro I_c (Robertson, 1990) per la prova CPT3

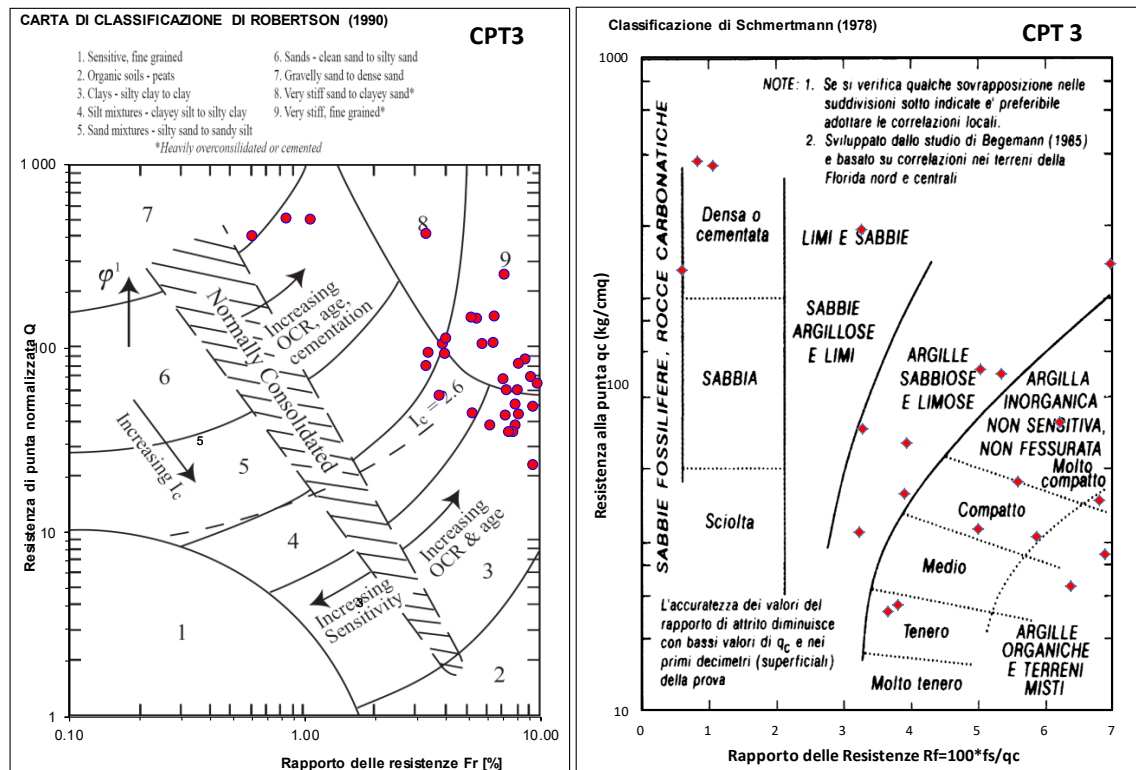


Figura D.6. Classificazioni litologiche secondo Robertson (1990) e Schmertmann (1978) per la prova CPT3.

D.1.3 Prova sismica tipo HV

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo a una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano 20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz. Nell'area sono stati eseguiti due rilievi di seguito riportati.

Il principio su cui si basa questo strumento è piuttosto semplice. Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si tenta di determinare il profilo verticale delle Vs.

Il rapporto spettrale H/V è sensibile ai contrasti di Vs, ma può identificarne la profondità solo una volta che siano note le Vs o, viceversa, può identificare le Vs una volta note le profondità.

L'analisi degli spettri HV ha evidenziato nella prova Hv1 la presenza di diversi picchi con ampiezza massima 3, la prova Hv2 evidenzia invece un picco a circa 1Hz tale picco, visti anche la serie temporale e la direzionale è probabilmente da imputare alle raffiche di vento presenti soprattutto nei pressi del crinale, per tale motivo l'Hv2 non è stato utilizzato per l'interpretazione delle Vs.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

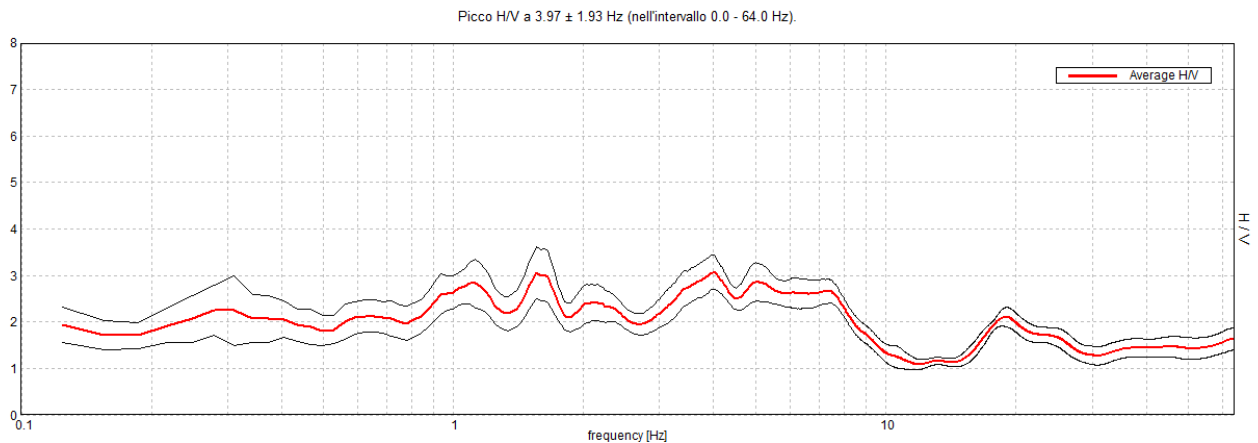


Figura D.7. Spettro d'ampiezza della prova HV1

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

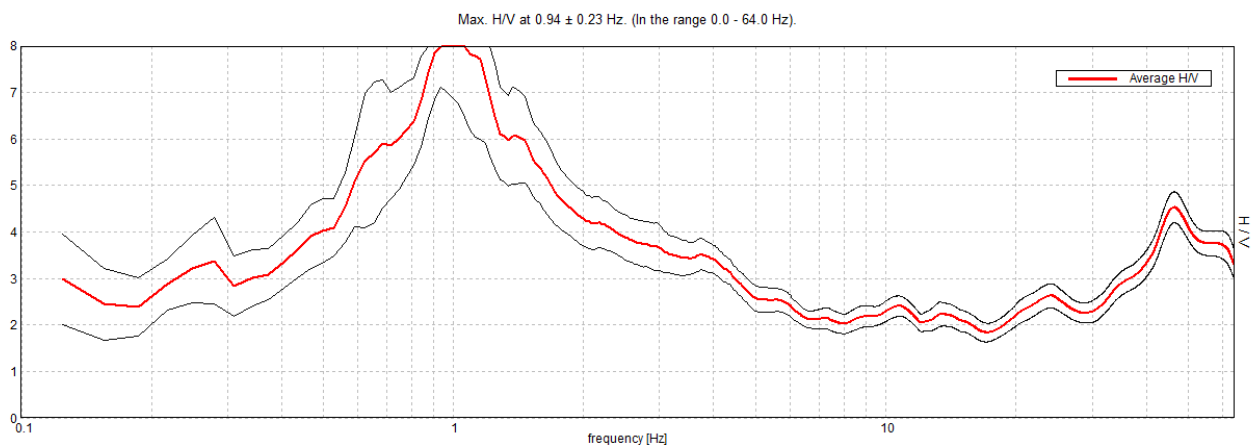


Figura D.8. Spettro d'ampiezza della prova HV2

D.1 Schema litologico e modello geologico-tecnico

Il modello geologico e stratigrafico è stato definito in prima fase attraverso la ricostruzione topografica e geologica di dettaglio dell'area eseguendo rilievi geologici e topografici specifici ed in seconda fase effettuando una serie di indagini geognostiche.

Le prove hanno consentito di individuare le seguenti unità geotecniche-geomeccaniche:

- Unità L1: suolo Lo spessore è variabile e compreso tra 0.4 m ed 1.6 m . (Dati caratterizzanti: $N_{spt} = 0.2$, $q_c = 7 \text{ kg/cm}^2$; $V_s = 180 \text{ m/s}$).

- Unità L2 (a3): detrito di versante. Detrito a granulometria variabile con prevalenza della frazione 2mm-2 cm; frammenti a spigoli vivi ad aspetto caotico. La base del detrito è posta tra 6 ed 8 m dal pc Dati caratterizzanti: $N_{spt} = 8$, $q_c = 56 \text{ kg/cm}^2$; $V_s = 300-350 \text{ m/s}$;

- Unità L3: Substrato roccioso appartenente all'unità del Flysch di Monte Cassio (MCS) che si presenta ,molto alterato e molto fratturato costituito da un'alternanza di calcari e calcari marnosi con argilliti, peliti e marne (aspetto flyscioide); la situazione geostrutturale locale individua condizione dell'ammasso di intensa fatturazione e rende l'unità geotecnica quasi assimilabile ad un deposito incoerente con coesione tendente a zero. Dati caratterizzanti: $N_{spt} > 20$; $q_c > 200 \text{ kg/cm}^2$; $V_s = 300-400 \text{ m/s}$.

- Unità L4: Substrato roccioso e pseudoroccoso costituito da argilliti prevalenti intervallate da sottili stati arenacei, calcarei e marnosi con rapporto medio A/P $\ll 1$. Unità Geologica delle Argille varicolori [AVV]. Dati caratterizzanti: $V_s = 500-600 \text{ m/s}$ (a profondità maggiori di 14 m). Generalmente molto deformata.

- Unità L5: Substrato roccioso fratturato costituito da un'alternanza di argilliti o peliti e arenarie con rapporto medio A/P $\ll 1$. Unità Geologica della Formazione di Ranzano – membro di Varano Melegari [RAN3]. Dati caratterizzanti: $V_s = 500-600 \text{ m/s}$.

Il modello geologico-tecnico semplificato e la relativa parametrizzazione sono riportati nello schema successivo.

Profondità m dal pc	Litologia	Comportamento	Parametri caratteristici*	
0.0-0.4/1.2	L1. Suolo	Coesivo/granulare	Parametri totali $\gamma_k = 18-19/\text{m}^3$ $Cu_k = 20-34 \text{ KPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $Mk = 2-3 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k = 17-18 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 0-5.0 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 26^\circ$
0.4/1.2-6.0/8.0	L2-a3. Detriti di versante/depositi di copertura alla base regolite ed eluviale del substrato (DT)	Coesivo/granulare	Parametri totali $\gamma_k = 19-20 \text{ kN/m}^3$ $Cu_k = 60-260 \text{ KPa}$ $\Phi_u = 0^\circ$ $Mk = 4-12 \text{ MPa}$	Parametri efficaci $\gamma_k = 20-21 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 25-30 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 29-32^\circ$
>6.0/8.0	L3 – substrato roccioso alterato e molto fratturato (MCS)	Roccoso Flyscioide molto fratturato / granulare		Parametri efficaci $\gamma_k = 24 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 0.0-50 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 33-34^\circ$
Presente lateralmente al di sotto del detrito o nel lotto posto sotto il lembo di MCS ad una profondità di 13-15 m	L4- Substrato argillitico deformato e fratturato (AVV)	Pseudo Roccoso (argilliti e marne)		Parametri efficaci $\gamma_k = 21-23 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 6-10 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 23-24^\circ$
Presente nella zona di valle del lotto al di sotto del detrito	L5 – Substrato roccioso fratturato (RAN3)	Roccoso-pseudoroccoso Asperro flyscioide con argilliti prevalenti)		Parametri efficaci $\gamma_k = 23-24 \text{ kN/m}^3$ $c'_k = 30-40 \text{ kPa}$ $\Phi'_k = 25-36^\circ$

Prof (m)	CPT2	CPT3	
0.4	4	7	
0.6	12	10	
0.8	14	24	
1	22	21	
1.2	24	12	
1.4	122	10	
1.6	36	11	
1.8	25	20	
2	28	20	
2.2	39	35	
2.4	19	32	
2.6	36	50	
2.8	49	46	
3	85	25	
3.2	86	32	
3.4	99	222	
3.6	101	22	
3.8	35	66	
4	116	39	
4.2	156	28	
4.4	44	44	
4.6	81	40	
4.8	52	30	
5	64	76	
5.2	30	297	
5.4	47	107	
5.6	83	111	
5.8	55	73	Livelli
6	190	36	
6.2	400	26	L1
6.4		30	
6.6		20	L2
6.8		34	
7		22	
7.2		33	
7.4		233	L3
7.6		466	
7.8		480	

L1 -SUOLO	7
L2	56
L3	354

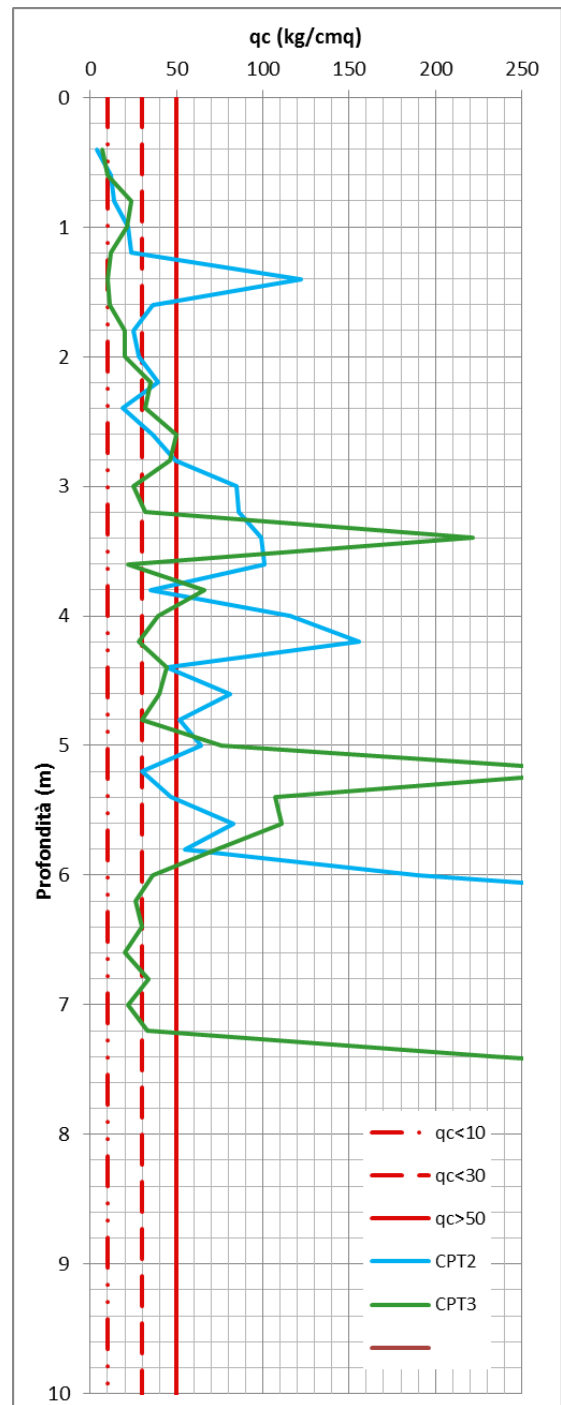


Figura D.9. Modello geologico semplificato

D.2 Parametri meccanici

D.2.1 Coesione non drenata

Per la valutazione della coesione non drenata (Cu), tipica dei terreni coesivi, è stata utilizzata la relazione proposta da Schmertmann (1975)⁵, espressa in funzione della resistenza alla punta qc (o Rp) del penetrometro statico e della pressione geostatica σv; $Cu = Rp - \sigma_v / Nc$ [Kg/cmq]; dove Nc è una costante dipendente dal tipo di terreno in esame.

Il valore di Cu è stato discretizzato in intervalli metrici, di lato si riportano il grafico ed i valori ottenuti.

	L1	L2	L3
media	33.9	262.5	1728.2
5° percentile	20.7	58.2	968.0
minimo	19.2	47.7	926.1
massimo	48.4	1451.3	2346.2
Dev stad	14.6	247.4	657.7
COV	0.43	0.94	0.38
Bayesiano	26.56	138.75	1399.34
16°Percentile	23.93	101.54	1060.05

Figura D.10. Valori di Cu (kPa) dalle prove CPT

D.2.2 Resistenza al taglio e densità relativa

I valori caratteristici della resistenza al taglio drenata (τ) sono rappresentati dalla coesione drenata c' e dall'angolo di attrito φ'. Questo ultimo parametro è stato determinato dalle prove penetrometriche dinamiche utilizzando le seguenti equazioni:

$\Phi' = (NSPT \cdot 0.3) + 27$	Shioi & Fukui (1982) ⁶
$\Phi' = (0.14 \cdot Dr) + 28$	Schmertmann (1978) ⁷
$\Phi' = 19 - 0.38 \cdot \sigma'_v + 8.73 \cdot \log(NSPT)$	De Mello (1971) ⁸
$\Phi' = 27.2 + 0.28 \cdot (N'60)$	Peck, Hanson e Thornburn (1956)
$\Phi' = 20 + 9.3 \cdot (N'60)$	Peck, Hanson e Thornburn (1953) ⁹

La correlazione con Nspt non è sempre diretta, ma in Schmertmann è necessario determinare la densità relativa Dr ricavata con secondo le formule proposte da diversi autori tra cui:

$Dr = \text{EXP}(0.478 \cdot \text{LN}(Nspt) - 0.262 \cdot \text{LN}(\sigma'_v) + 2.84)$	Schultze & Menzenbach (1961) ¹⁰
$Dr = 21 \cdot (Nspt / (\sigma'_v + 0.7))^{0.5}$	Gibbs-Holz (1957) ¹¹
$Dr = 25 \cdot (Nspt)^{0.44} \cdot (\sigma'_v)^{-0.13}$	Yoshida & Kokusho (1988) ¹²
$Dr = (N'70 / (32 + 0.288 \cdot \sigma'_v))^{0.5}$	Meyerhof (1957) ¹³

⁵ Schmertmann, J. H. 1975. "Measurement of In-Situ Strength," *Proceedings of the Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties*, American Society of Civil Engineers, pp 55-138.

⁶ Shioi Y. & Fukui J. (1982): "Application of N-Value to Design of Foundations in Japan", *2nd European Symposium of penetration Testing*, Vol.1 pp159-164

⁷ Schmertmann J.H. (1978): "Guidelines for cone penetration test performance and design. U.S. Dept. Of Trasportation, FHWA, R78-209, Washington D.C. USA

⁸ De Mello V.F.B (1971): "The standard penetration test state-of-the art report" *4th Pan-American Conf. On Soil Mechanics Foundation Engineering, Puerto Rico*, 1, 1-86

⁹ Peck R.B., Hanson W.F., Thornburn T.H. (1953) "Foundation engineering" Wiley, New York

¹⁰ Schulze E. & Menzenbach E. (1961): "Standard penetration test and compressibility of soils" *Proc. 5th Int. Conf. Soil mechanics, Foundation Engineering, Paris*, vol.1, pp527-32

¹¹ Gibbs H.J. & Holz W.G. (1957): "Research on determinig density of sands by spoon penetration testing" *Proc. 4th Int. Conf. Soil mechanics and foundation engineering, London*, vol.1, 35-39.

¹² Yoshida Y. & Kokusho T. (1988). *Empirical Formulas of SPT blow-counts for gravelly soils. Proc. ESOPT 1, Rotterdam.*

La determinazione attraverso i parametri indiretti è avvenuta secondo l'equazione di Schmertmann '77 in funzione della densità relativa (D_R). Per il calcolo della D_R è stata utilizzata l'equazione di Schmertmann.

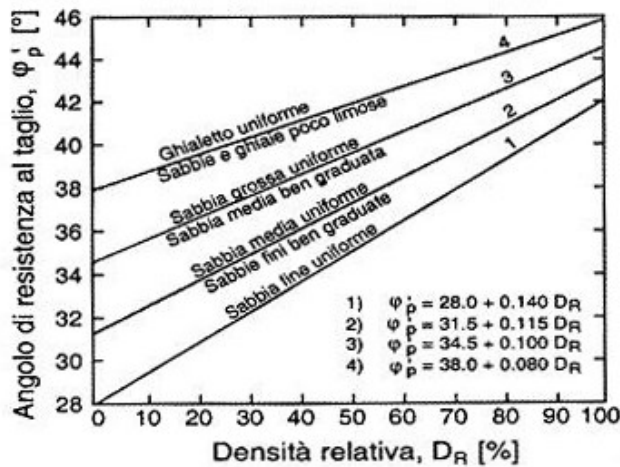


Figura D.11. Diagramma di Schmertmann (1978)

L'elaborazione ha permesso di ricavare i seguenti valori dell'angolo di attrito.

	L1	L2	L3
media	26.2	32.4	44.7
5° percentile	26.2	29.1	38.6
minimo	26.2	26.2	37.9
massimo	26.2	38.6	51.5
Dev stad	0.0	2.7	9.6
COV	0.00	0.08	0.21
Bayesiano	26.23	31.04	39.92
16°Percentile	26.23	30.16	40.10

Figura D.12. Parametri di f' (°) elaborati da Nspt

D.2.3 Modulo Edometrico

I valori del modulo edometrico sono stati calcolati attraverso l'elaborazione delle CPT utilizzando la correlazione proposta da Mitchell & Gardner (1975)¹⁴: $M = \alpha qc$

dove α è una costante dipendente dalle caratteristiche del terreno esaminato.

	L1	L2	L3
media	3.1	12.7	34.8
5° percentile	2.3	4.1	19.6
minimo	2.2	3.4	19.6
massimo	3.8	35.5	58.2
Dev stad	0.9	7.7	20.9
COV	0.27	0.61	0.60
Bayesiano	2.70	8.82	24.41
16°Percentile	2.57	6.13	19.61

Figura D.13. Parametri di M (MPa) elaborati dalle prove CPT

¹³ Meyerhof G.G. (1957): "Discussion on research on determining the density of sands by spoon penetration testing. Proc. 4th Int. Conf. Soil mechanics and foundation engineering, London, vol.3, p110.

¹⁴ Mitchell J.K. & Gardner W.S. (1975) "In situ measurement of volume change characteristics" Proceeding of the ASCE specialty conference In situ, Volume II, Raleigh, NC, ASCE, pp 279-345.

D.2.4 Parametri dell'ammasso roccioso

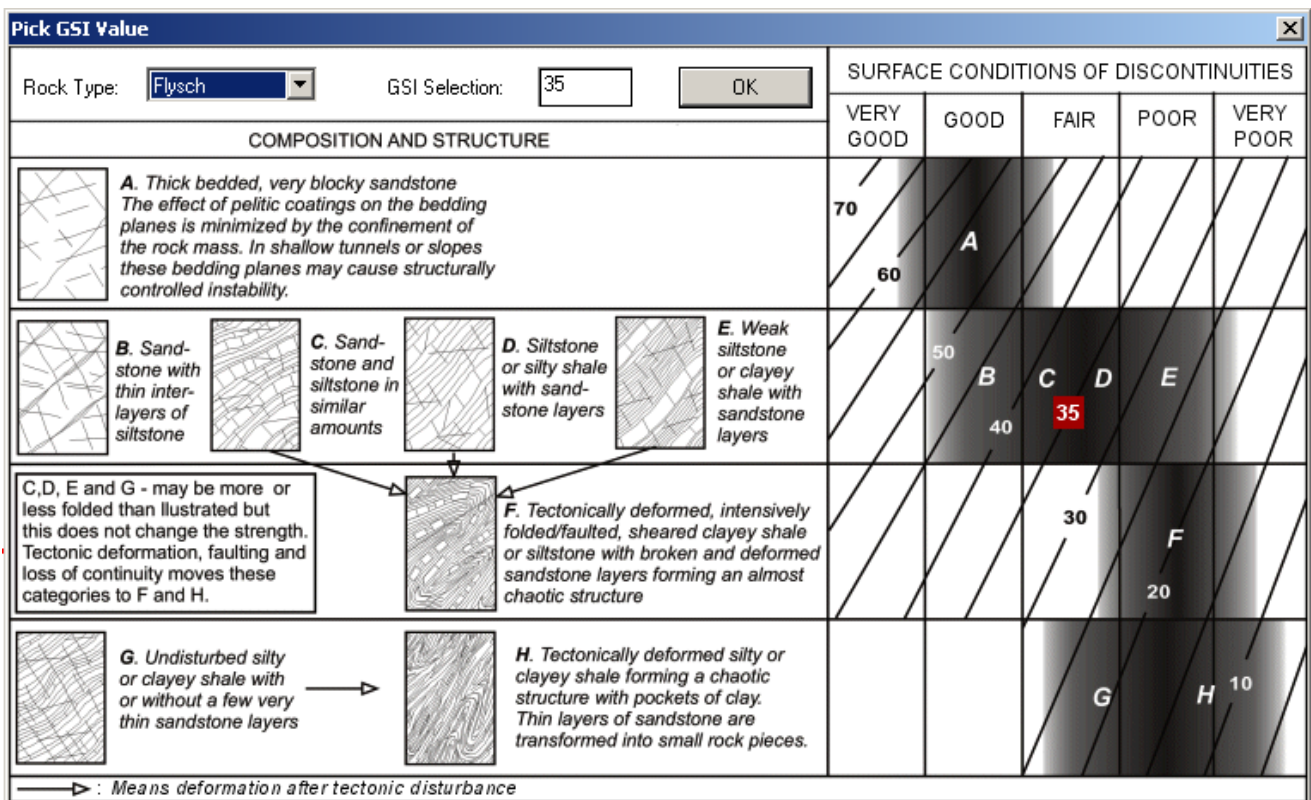
I parametri di ammasso sono desunti dalla bibliografia ed in parte rielaborati secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown.

I parametri del Flysch di M.te Cassio (MCS) sono desunti da

Formazione	Membro	Descrizione	σ_{ci} [MPa]	m_i [-]	E_i [MPa]
Monte Cassio	MCS	Marne e marne calcaree con base calcarenitica fine passanti a marne argillose scagliose intercalati a strati di areniti medio-fine e argille siltoso-marnose	44	6	10000

Formazione	γ_t [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E [MPa]	Cu [kPa]	GSI	RMR base
MCS	23-24	250-300	46-50	740-1200		35-50	50

FORMAZIONE	GSI	C' (Mpa)	ϕ' (°)	mb	s	a	Erm (Mpa)
F. MONTE CASSIO	38-46	0,29-0,38	38,9-42,7	0,3-0,46	0,0001-0,0004	0,51	1279-2040



Per ricavare le condizioni locali sono stati rielaborati i parametri di base in funzione delle caratteristiche litostatiche, litotecniche (ammasso molto fratturato: D= 1) e geometriche locali (slope) ottendo i parametri di seguito riportati.

Parametri meccanici caratteristici				
Unità geotecniche	Peso di volume γ (kN/mc)	C' coesione non drenata (kN/mc)	Φ' angolo di attrito interno(°)	Caratteristiche litologiche
MCS (Flysch di M.te Cassio)	24	0-50 (5)	33-34	Formazione di Monte Cassio (fascia alterata e molto fratturata)

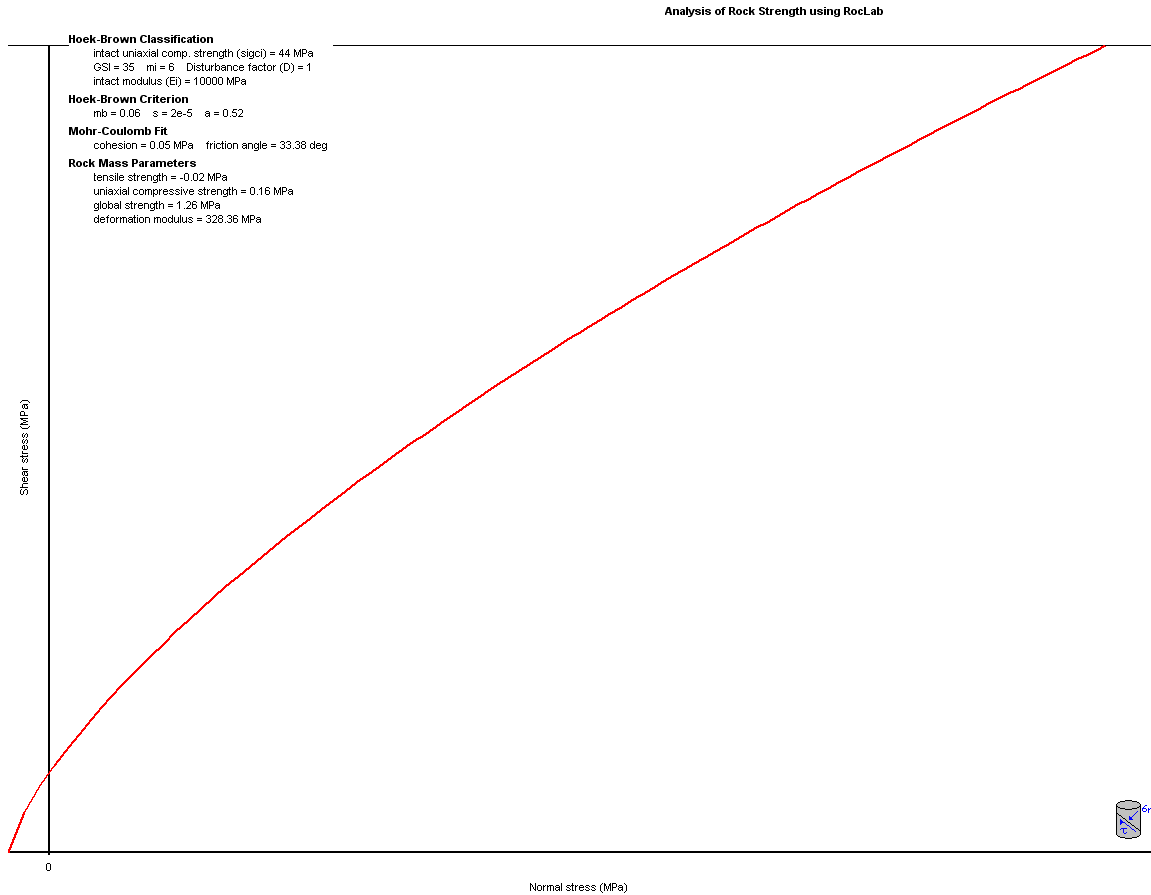


Figura D.14. Involuppo di rottura Mohr-Coulomb e criterio Hoek e Brown per MCS molto fratturato

I parametri di base delle Argille Varicolori (AVV) sono desunti da Mandrone G. 2004 che rielaborati in relazione alle condizioni litologiche e geometriche locali forniscono i parametri di seguito riportati.

Parametri meccanici caratteristici				
Unità geotecniche	Peso di volume γ (kN/mc)	C' coesione non drenata (kN/mc)	Φ' angolo di attrito interno(°)	Caratteristiche litologiche
AVV (Argille varicolori)	21-23	80 (8)	23-34	Argille varicolori (fascia alterata e deformata)

Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
Rock Type:	GSI Selection:	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
COMPOSITION AND STRUCTURE						
	A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70	60			
	B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone		50			
	C. Sandstone and siltstone in similar amounts			40		
	D. Siltstone or silty shale with sandstone layers				30	
	E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers					20
C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.						
	F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure					10
	G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers					
	H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.					
→ : Means deformation after tectonic disturbance						

Analysis of Rock Strength using RocLab

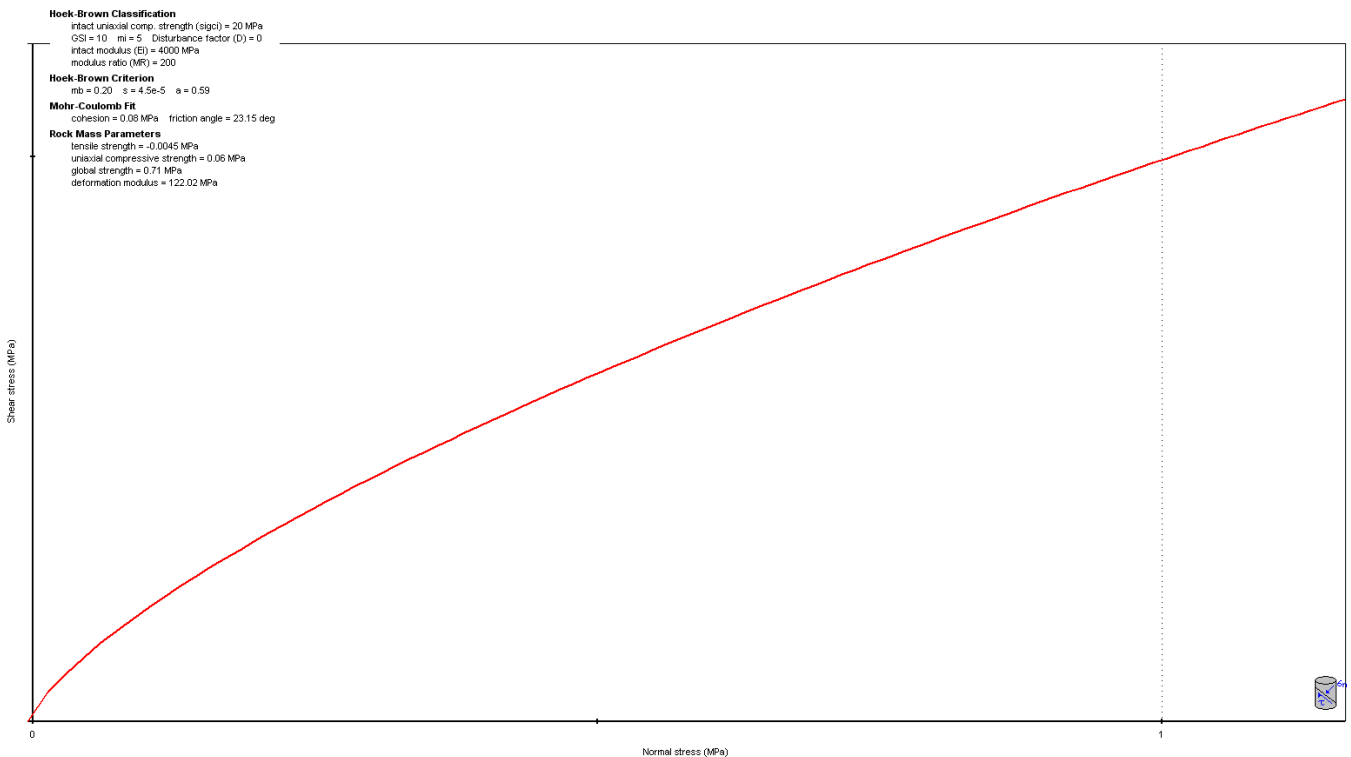


Figura D.15. Involuppo di rottura Mohr-Coulomb e criterio Hoek e Brown per AVV molto deformato

I parametri della Formazione di Ranzano membro di Varano de' Melegari sono desunti da numerose indagini eseguite per:

Progetto variante alla SS63 tratta Bocco-Canala (Comune di Casina e comune di Castenovo né Monti);

Progetti di coltivazione cave Molino di Canevarola e Lovaro site in comune di Carpineti;

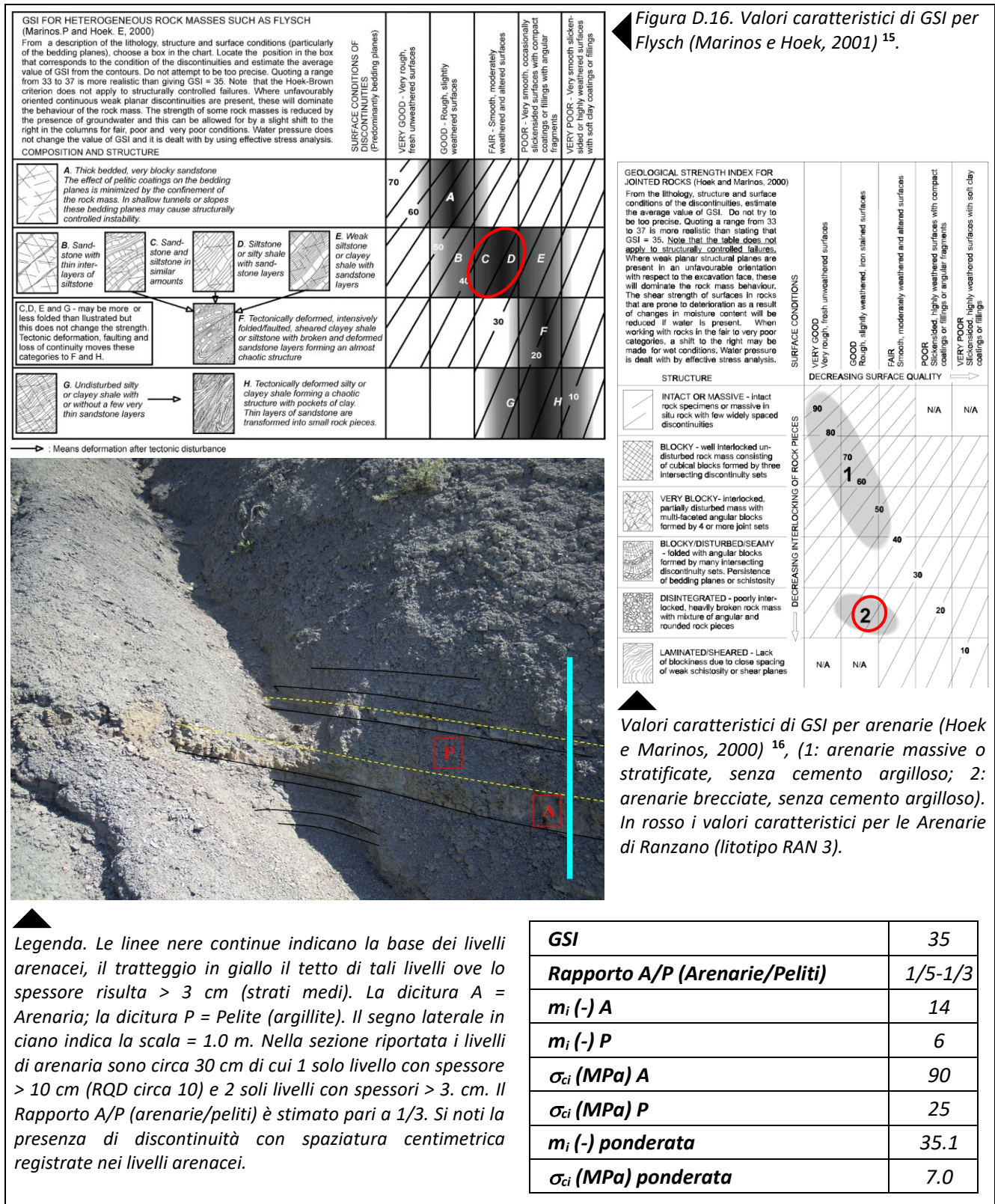
Parametri meccanici da progetto Bocco Canala				
Unità geotecniche	Peso di volume γ (kN/mc)	C' coesione non drenata (kN/mc)	Φ' angolo di attrito interno(°)	Caratteristiche litologiche
RAN 3a (Arenarie di Ranzano)	22	29.0	23.3	Formazione di Ranzano (fascia alterata e fratturata)
RAN 3b (Arenarie di Ranzano)	23-24	46-63	39-43	Formazione di Ranzano (fascia non alterata e scarsamente fratturata)

Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari, fascia alterata (RAN3)

		STUDIO 2003	ELABORAZIONI SISMICHE	ANALISI LABORATORIO	GSI - fascia alterata	GSI - fascia competente
Peso dell'unità di volume (γ)	(kN/mc)	24,0-25,5		22,0-23,8		
Peso di volume secco (γ_d)	(kN/mc)			18,2-20,2		
Coazione non drenata (C_u)	(Kpa)					
Coazione drenata di picco (c')	(Mpa)	0,04-0,23		0,008-0,018	0,029-0,034	0,046-0,063
Angolo di attrito drenato (di picco) (ϕ')	(°)	35,0-53,3		18,4-27,8	20,9-23,3	39,6-43,6
Coazione drenata residua (c'_r)	(Mpa)	0,02-0,11		0,0118		
Angolo di attrito drenato residuo (ϕ'_r)	(°)	34,5-49,5		14		
Resistenza a compressione semplice (σ_c)	(Mpa)	1-100		1		
Modulo di deformazione (E)	(Mpa)		750		18,5-31,2	210-315

Per le arenarie di Ranzano (Litotipo RAN 3) è stato proposto un valore di GSI di progetto pari a 35. Per quanto riguarda le tipologie di flysch sono state riscontrate le tipologie C e D.

I valori di σ_{ci} ed m_i ponderati in funzione delle percentuali di livelli arenacei e pelitici sono riportate di seguito.



¹⁵ Marinos P. & Hoek E. (2001) "Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch", Bull. Engg. Geol. Env. 60, 85-92.

¹⁶ Marinos P. & Hoek E. (2000) "GSI - A geologically friendly tool for rock mass strength estimation"

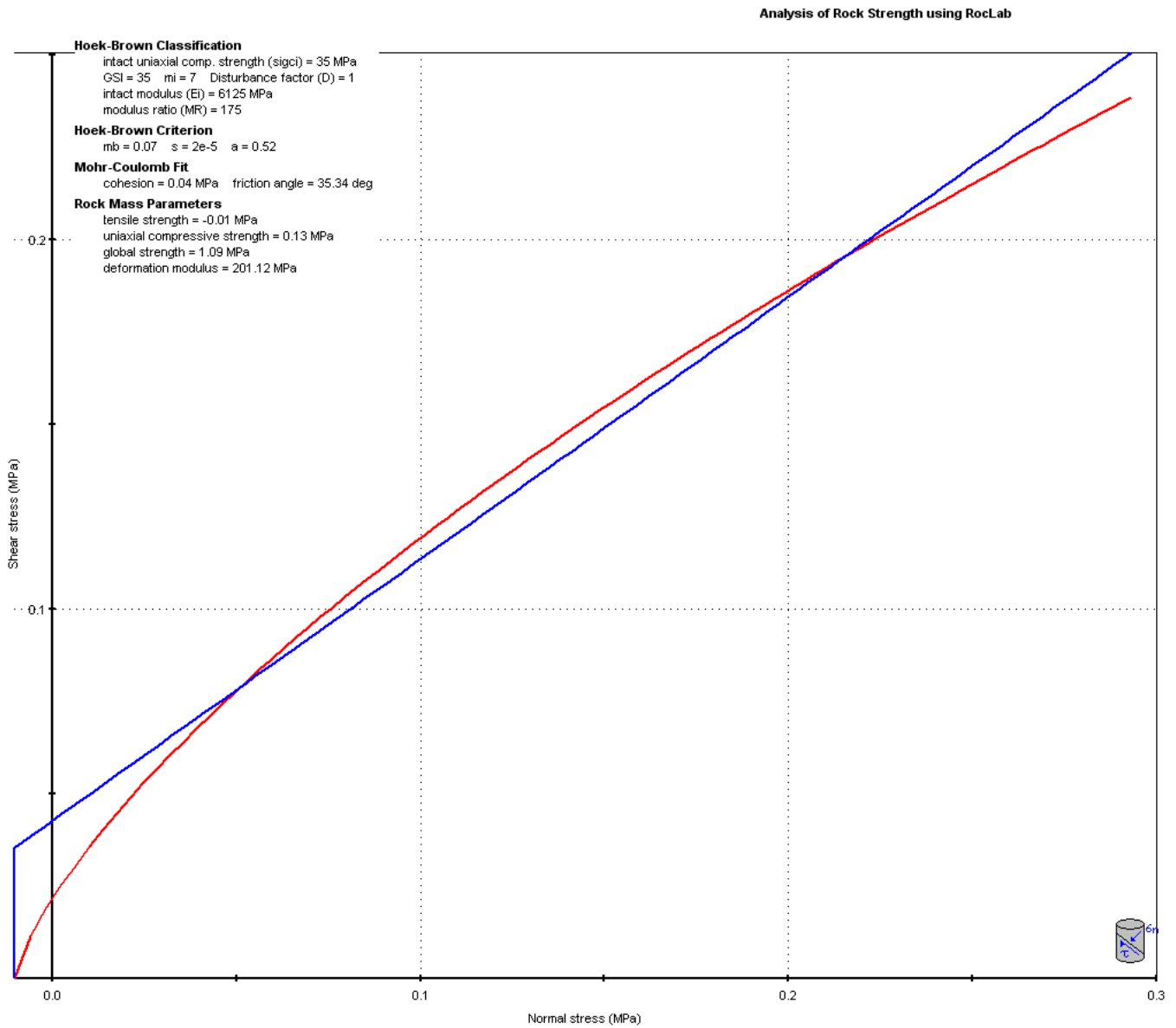


Figura D.17. Involuppo di rottura Mohr-Coulomb e criterio Hoek e Brown. Elaborazione con software RocLab per RAN3

In sintesi

Parametri meccanici caratteristici				
Unità geotecniche	Peso di volume γ (kN/mc)	C' coesione non drenata (kN/mc)	Φ' angolo di attrito interno(°)	Caratteristiche litologiche
RAN 3b (Arenarie di Ranzano)	23-24	30-40	25-36	Formazione di Ranzano (fascia non alterata e scarsamente fratturata)

E. MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO DI COSTRUZIONE

E.1 Sismicità

E.1.1 Zonazione sismica e pericolosità

L'area in esame, nella zonazione sismogenetica pubblicata sul sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (G.d L., 2004¹⁷), si viene a trovare nella zona sismogenetica 913. Le zone sismogenetiche 913, 914 e 918 risultano dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo. In questa fascia si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna.

Nel “*Database of individual seismogenic sources - DISS*”¹⁸ disponibile al sito www.ingv.it l'area in esame ricade internamente alle sorgenti sismogenetiche individuate ed in particolare della sorgente sismogenetica denominata **ITCS027** Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga, per la quale sono riportate le informazioni sintetizzate nella tabella seguente.

	DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS027 - Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	
Source Info Summary	Commentary	References
		Pictures

General information

Code	ITCS027
Name	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano
Latest Update	24/09/2007

Parametric information

	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	12	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max Depth (km)	22	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike (deg)	90 - 160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip (deg)	20 - 55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake (deg)	70 - 110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 1	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude (Mw)	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

Q-keys: LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

¹⁷ Gruppo di Lavoro (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma.

¹⁸ Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics*

Nel "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" (Gruppo di lavoro CPTI, 2004¹⁹, INGV, Bologna) per un intorno significativo dell'area in esame (un raggio di 30 Km con centro latitudine 44.502 e longitudine 10.469) sono stati identificati 30 eventi significativi dei quali si riportano alcuni dati nella tabella successiva.

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.502, 10.469) e raggio 30 km

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
5	DI	-91						Modena-Reggio Emilia	CFTI	3	85	80		44.65	10.78	A	5.66	0.17		5.53	0.25		5.53	0.25	913	G	24	5	
160	DI	1465	4	15	14	40		Reggio Emilia	CFTI	6	65	65		44.7	10.63	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	913	G	192	600	160
242	DI	1547	2	10	13	20		Reggio Emilia	CFTI	13	80	70	M	44.7	10.63	A	5.21	0.25		4.86	0.37		5.05	0.34	913	G	223	603	242
281	DI	1591	5	24				REGGIO EMILIA	DOM	4	60	60		44.697	10.631	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		606	281
304	DI	1608	1	6				REGGIO EMILIA	DOM	2	60	60		44.697	10.631	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		607	304
720	DI	1811	7	15	22	44		SASSUOLO	DOM	21	70	70		44.572	10.728	A	5.24	0.19		4.91	0.28		5.09	0.26	913	G		614	720
740	DI	1818	12	9	18	52		LANGHIRANO	DOM	27	75	75		44.668	10.286	A	5.57	0.10		5.40	0.15		5.55	0.15	913	G		615	740
791	DI	1831	9	11	18	15		Reggiano	CFTI	24	75	75		44.75	10.55	A	5.48	0.13		5.27	0.19		5.43	0.18	912	G	378	616	791
798	DI	1832	3	13	3	30		Reggiano	CFTI	93	75	75		44.77	10.47	A	5.59	0.07		5.43	0.10		5.57	0.10	913	G	382	617	798
906	DI	1857	2	1				FARSENSE	DOM	22	65	65		44.749	10.46	A	5.26	0.12		4.94	0.18		5.12	0.17	913	G		619	906
966	CP	1869	12	13	2	53		SERRAMAZZONI	FOS85					44.5	10.75		5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	913	G		620	966
984	DI	1873	5	16	19	35		REGGIANO	DOM	15	65	65		44.612	10.701	A	5.13	0.20		4.74	0.29		4.93	0.27	913	G		621	984
988	DI	1873	9	17				LIGURIA ORIENTALE	DOM	68	65	65		44.497	10.283	A	5.52	0.13		5.32	0.19		5.47	0.18	916	A		537	988
1190	CP	1892	5	17	3	8	15	CARPINETTI	FOS85					44.45	10.517		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		581	1190
1291	DI	1898	3	4				CALESTANO	DOM	260	70	65		44.503	10.314	A	5.07	0.09		4.65	0.14		4.85	0.13	913	G		584	1291
1385	DE	1904	2	25	18	47	50	Reggiano	CFTI	62	70	60		44.48	10.63	A	5.13	0.07		4.75	0.11		4.94	0.10	913	G	461	624	1385
1504	CP	1909	3	18	2	51	52	CARPINETTI	FOS85					44.5	10.5		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		625	1504
1590	DI	1913	11	25	20	55		VAL DI TARO	DOM	73	50	50		44.597	10.279	A	4.85	0.14		4.33	0.21		4.55	0.19	913	G		587	1590
1622	DI	1915	10	10	23	10		REGGIO EMILIA	DOM	30	65	60		44.732	10.469	A	5.01	0.08		4.57	0.12		4.78	0.11	913	G		626	1622
1739	DI	1923	6	28	15	12		FORMIGINE	DOM	22	60	60		44.595	10.799	A	5.21	0.05		4.86	0.08		5.05	0.07	913	G		627	1739
1769	DI	1925	3	15	17	15		FRASSINORO	DOM	16	45	45		44.282	10.286	A	4.65	0.14		4.03	0.21		4.28	0.19	915	G		588	1769
1784	DI	1926	6	28	21	15		REGGIANO	DOM	3	40	40		44.488	10.487	A	4.61	0.11		3.97	0.16		4.22	0.15	913	G		628	1784
1797	CP	1927	11	20	10	24	12	CERVAREZZA	FOS85					44.4	10.4		4.66	0.09		4.04	0.14		4.29	0.13	913	G		589	1797
1843	CP	1930	9	24	19	10	55	SCANDIANO	FOS85					44.6	10.6		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		629	1843
1954	CP	1940	1	24	23	32	16	CORNIGLIO	FOS85					44.467	10.1		4.93	0.09		4.45	0.14		4.67	0.13	915	G		591	1954
2114	CP	1957	10	25	23	2	5	MONCHIO	FOS85					44.383	10.2		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	915	G		592	2114
2218	DI	1965	11	9	15	35		ALTA V. SECCHIA	DOM	32	50	50		44.373	10.355	A	5.01	0.11		4.56	0.16		4.77	0.15	913	G		593	2218
2231	CP	1967	5	15	10	3	34	S. POLO	FOS85					44.6	10.4		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		637	2231
2278	CP	1970	5	3	4	17	41	S. POLO	FOS85					44.633	10.383		4.80	0.21		4.26	0.31		4.49	0.29	913	G		639	2278
2313	CP	1972	6	25	17	10	49	CALESTANO	FOS85					44.6	10.2		4.66	0.21		4.04	0.31		4.29	0.29	913	G		642	2313

N numero d.ordine del record N numero d.ordine del record

Tr tipo di record DI: parametri calcolati da dati di base macrosismici; CP: parametri adottati da cataloghi parametrici

Tr tipo di record

Anno tempo origine: anno Anno tempo origine: anno

Me tempo origine: mese Me tempo origine: mese

Gi tempo origine: giorno Gi tempo origine: giorno

Or tempo origine: ora Or tempo origine: ora

Mi tempo origine: minuto Mi tempo origine: minuto

Se tempo origine: secondo Se tempo origine: secondo

AE denominazione dell'area dei massimi effetti

AE denominazione dell'area dei massimi effetti

Rt codice dell'elaborato di riferimento vedi tabella 1

Np numero dei dati puntuali di intensità disponibili

Np numero dei dati puntuali di intensità disponibili

Imx intensità massima x 10 (scala MCS)

Imx intensità massima x 10 (scala MCS)

Io intensità epicentrale x 10 (scala MCS)

Io intensità epicentrale x 10 (scala MCS)

TI codice di determinazione di Io M: valore assegnato manualmente

TI codice di determinazione di Io

Lat localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali

Lat localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali

Lon localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali

Lon localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali

TL codice di localizzazione A: localizzazione macrosismica automatica M: localizzazione macrosismica manuale S: localizzazione strumentale

TL codice di localizzazione

Me Magnitudo equivalente

De Errore associato alla stima di Me

Mm Magnitudo macrosismica (calibrata a Ms)

Dm Errore associato alla stima di Mm

Tm Codice di determinazione di Mm

Ms magnitudo calcolata sulle onde di superficie

Ds errore associato alla stima di Ms

TS codice di determinazione di Ms

Maw Magnitudo momento --

Daw Errore associato alla stima di Maw --

TW codice di determinazione di Maw O valore osservato --

Mas Magnitudo calcolata sulle onde di superficie fino al 1980 coincide con Ma di CPTI99

Ma Magnitudo media (calibrata a Ms)

Das Errore associato alla stima di Mas fino al 1980 coincide con Da di CPTI99

Da Errore associato alla stima di Ma

TS Codice di determinazione delle magnitudo per la zona etnea En: valore per il calcolo del quale è stata usata la relazione Io/Mm di Azzaro e Barbano (1997)

Msp Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996) per Ms>5.5: Msp=Ms; per Ms<5.5: Msp=(Ms+0.584)/1.079

Dsp Errore associato alla stima di Msp

ZS9 Zona sorgente di ZS9 cui l'evento è assegnato

TZ Codice di assegnazione alla zona sorgente G: assegnazione geografica A: assegnazione ponderata cautelativa

Ncft Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2

Ncft Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2

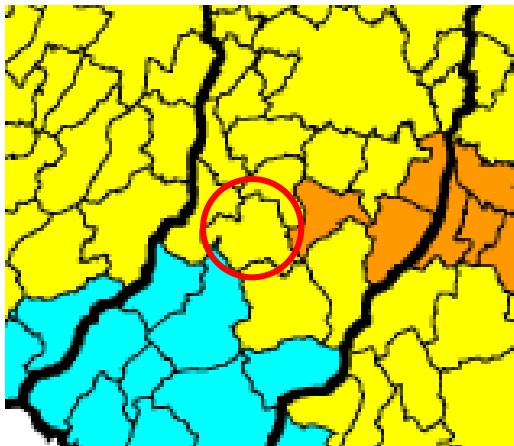
Nnt Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1

Tabella E.1. Estratto dal Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani, terremoti con epicentro compreso in un raggio di 30Km dall'area in esame.

E.1.2 Classificazione sismica

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003 il Comune di Casina viene classificato in zona 3. Nella figura seguente viene riportata la classificazione sismica a scala regionale.

¹⁹ Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna.



Legenda

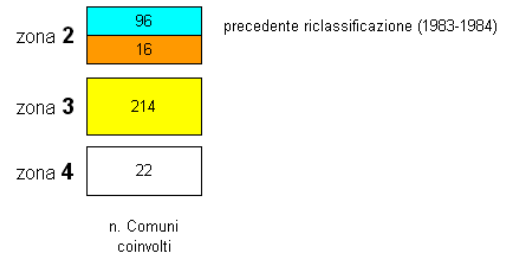


Figura E.1. Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna in base all'Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003, il n° di comuni si riferisce all'intero territorio regionale.

Con Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 14/01/08 sono state approvate le *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* (G.U. n°29 del 04/02/08) nelle quali è presente un allegato relativo alla pericolosità sismica del territorio nazionale, in particolare è fornita la pericolosità sismica su reticolo di riferimento per diversi intervalli di riferimento (sito <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Poiché l'area in esame non ricade precisamente su uno di tali punti, i valori dei parametri 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 attraverso la seguente espressione:

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

dove p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame; p_i è il valore del parametro di interesse nell'iesimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame; d è la distanza del punto in esame dall'iesimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i parametri a_g, F₀ e T_c' per diversi periodo di ritorno TR ottenuti con il programma "Spettri-NTC ver 1.3" disponibile sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici <http://www.cslp.it/cslp/>.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

LONGITUDINE: 10.48860 LATITUDINE: 44.50179

REGIONE: Emilia-Romagna PROVINCIA: COMUNE:

Elaborazioni grafiche: Grafico spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni: Tabella parametri

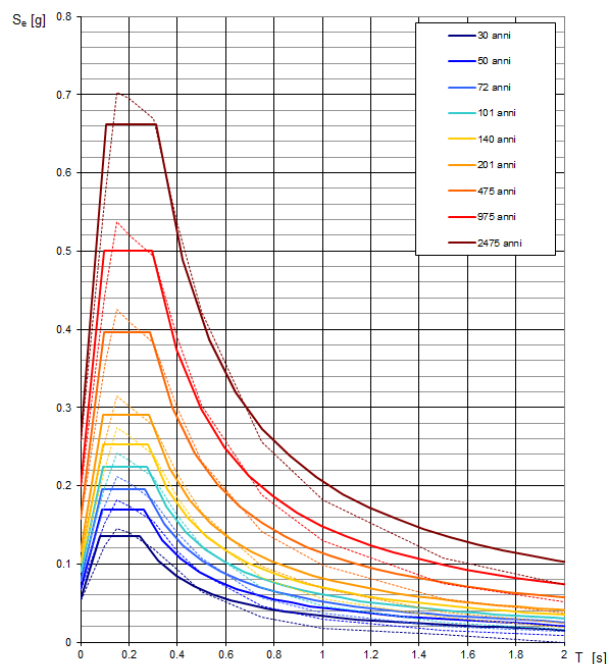
Nodi del reticolo intorno al sito: 15485, 15495, 15717, 15718

Controllo sul reticolo: sito esterno al reticolo, interpolazione su 3 nodi, interpolazione corretta

Interpolazione: media ponderata

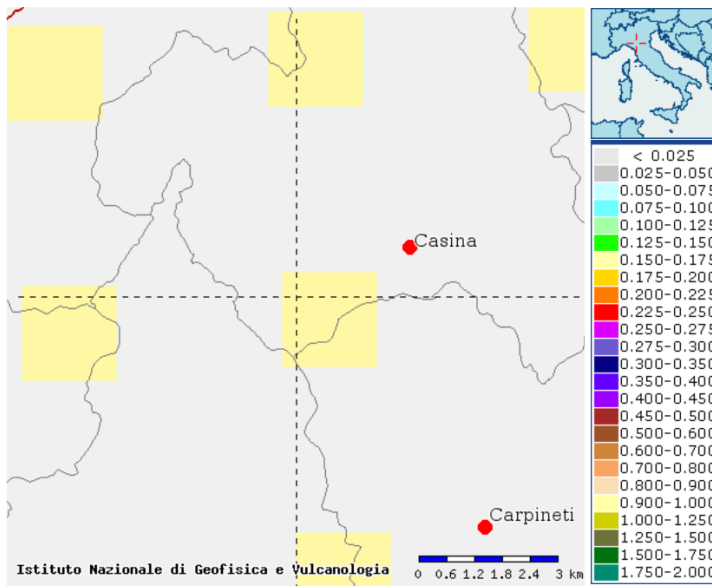
La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuali e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

T _R [anni]	a _g [g]	F ₀ [-]	T _c ' [s]
30	0.055	2.487	0.246
50	0.068	2.488	0.260
72	0.078	2.497	0.266
101	0.090	2.485	0.273
140	0.102	2.492	0.276
201	0.116	2.499	0.282
475	0.158	2.502	0.288
975	0.199	2.512	0.297
2475	0.259	2.561	0.310



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

I dati di disaggregazione riportati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i vertici identificati, per a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (SLV), indicano magnitudo (M) comprese tra 4-6 e distanze (D) comprese tra 0-30 km.

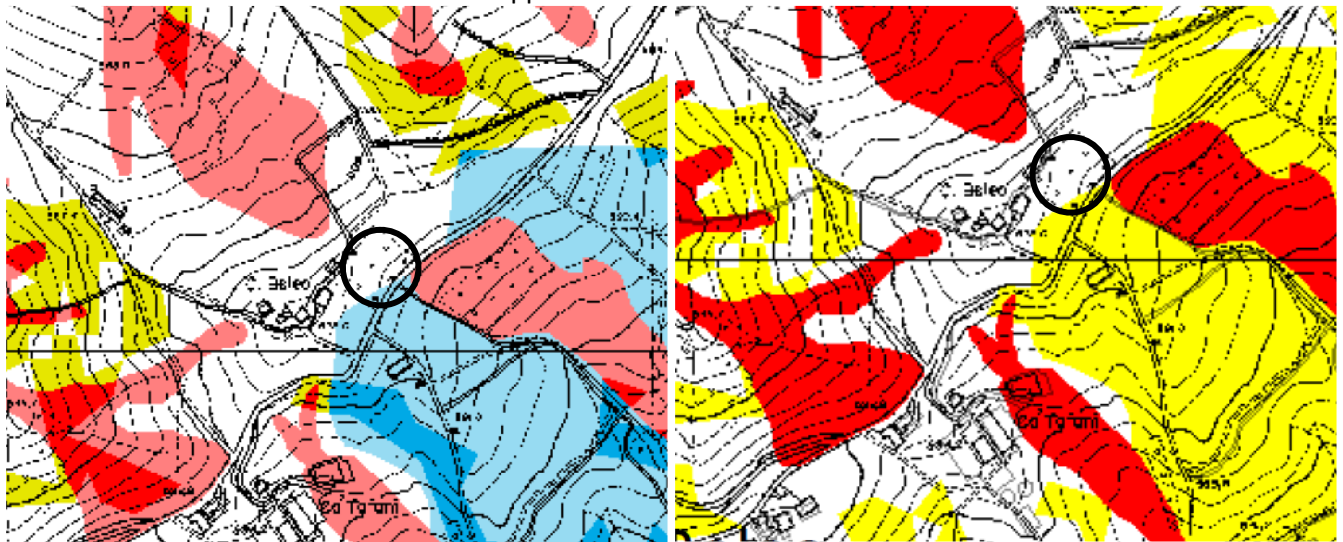


	16718	16717	16495	16496
M	4.88	4.89	4.870	4.870
D	8.520	8.670	8.500	8.56
Epsilon	0.888	0.910	0.891	0.898

Dati di disaggregazione estratti dal sito <http://esse1.mi.ingv.it/> per i nodi relativi all'area in esame.

E.2 Elementi di microzonazione sismica

Nella tavola P9a (218NO) "Rischio sismico-carta degli effetti attesi" del PTCP della provincia di Reggio Emilia, l'area oggetto del presente studio ricade in parte in classe "C" per la quale gli effetti attesi sono l'amplificazione stratigrafica. Nella tavola P9b (218NO) "Rischio sismico - carta dei livelli di approfondimento" per una parte dell'area in esame è indicato un livello di approfondimento "2".



CLASSI	EFFETTI ATTESI				
	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	INSTABILITA' DI VERSANTE	CEDIMENTI	LIQUEFAZIONE
A	X		X		
B	X	X	X		
C	X				
D	X	X			
E		X			
F	X				X
G	X			X (potenziale)	
H					

LIVELLI DI APPROFONDIMENTO

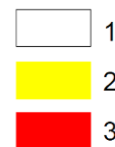


Figura E.2. Estratto dalla tavola P9a (218 NO) del PTCP della provincia di Reggio Emilia (2010) – "Rischio sismico-carta degli effetti attesi".

Figura E.3. Estratto dalla tavola P9b (218 NO) del PTCP della provincia di Reggio Emilia (2010) – "Rischio sismico-carta dei livelli di approfondimento".

E.2.1 Rischio sismico da PSC di Casina

Il PCS associato dei comuni di Baiso-Canossa- Casina-Vetto-Villaminazzo contiene alcune cartografie relative alla microzonazione sismica del territorio, esaminate e riportate in estratto qui di seguito.

Nella tavola P9 "Aree soggette ad effetti locali", la zona in esame è prevalentemente interna ad una zona cataclastica, zona di faglia, vista la presenza nel settore meridionale di un elemento tettonico certo. Solo la porzione più settentrionale è caratterizzata da depositi del substrato caratterizzati dal Vs30 minori di 800m/s.

Gli effetti attesi, gli studi previsti e la microzonazione sismica sono meglio precisati all'interno della tavola P10 "Carta di Microzonazione sismica"; nell'area in esame e negli immediati dintorni sono individuate le categorie 5 ed 11 così definite [in riferimento – alla "Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 2/5/2007: Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, c.1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", pubblicata sul B.U. della Regione Emilia Romagna n.64 del 17/5/2007"]:

5 - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche

studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico;

microzonazione sismica: approfondimenti di II livello.

11 - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per intensa fratturazione

effetti attesi: amplificazione degli effetti sismici;

microzonazione sismica: approfondimenti di III livello.

➤ **Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per intensa fratturazione**

Studi: indagini per caratterizzare Vs30 e valutazione del coefficiente di amplificazione per effetti di variazione della densità e del contrasto di impedenza, valutazione dei possibili cedimenti differenziali e processi di densificazione.

Microzonazione sismica: approfondimenti di III° livello per la valutazione dell'amplificazione del segnale sismico e per la stima di cedimenti e densificazione in presenza di materiali a scadenti caratteristiche geotecniche.

Nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico, come definito dall'art. 21 Reg. RER n° 33 del 13-10-1986, delle quali è schematicamente riportato il tabulato riassuntivo (tab. A), indipendentemente dagli effetti di sito attesi, per l'analisi di microzonazione sismica sono richiesti approfondimenti di III° livello, Allegati A3 e A4 DAL. 112/2007.

In riferimento a quanto sopra esposto risulta che per le aree nelle quali sono previsti approfondimenti di III° livello secondo l'allegato A3 le valutazioni potranno essere effettuate utilizzando i valori delle tabelle dell'allegato A2 per quanto riguarda i fattori di amplificazione sismica, mentre per il rischio di suscettibilità alla liquefazione, densificazione, stima dei cedimenti postsismici sono da adottarsi le procedure dell'allegato A3.

Per quanto riguarda le aree nelle quali sono richiesti approfondimenti in conformità agli allegati A3 e A4, oltre all'utilizzo delle sopra descritte procedure per la suscettibilità alla liquefazione, densificazione, stima

Nella tavola P11 “livelli di approfondimento” il sito ricade in aree di approfondimento di terzo livello.

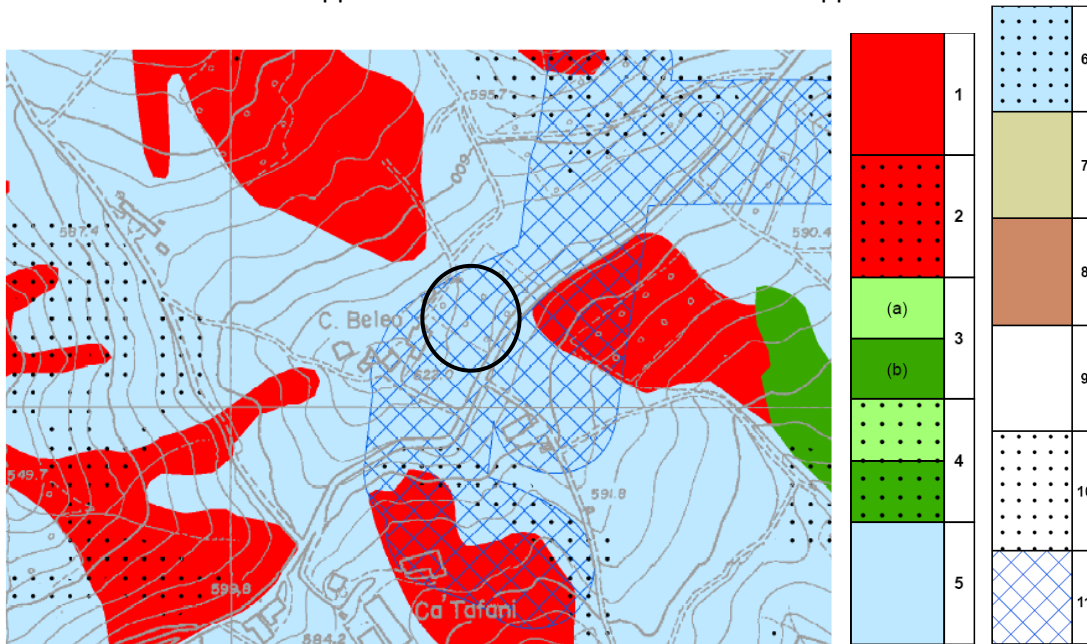


Figura E.4. Estratto dalla “Carta di Microzonazione sismica” del PSC associato dei comuni di Baiso-Canossa- Casina – Vetto – Villaminuzzo

Di seguito si riporta un estratto dalla scheda di analisi di fattibilità geologica-azione sismica dell’ambito in esame contenuta nel PSC.

<p>Caratterizzazione sismica; microzonazione</p>	<p>Substrato prevalentemente marnoso calcareo con strati di areniti carbonatiche al quale soggiacciono argilliti e/o alternanze marnoso pelitiche e strati arenitici; presenza negli adiacenti tratti di versante a nord ed a sud di acclività del 25%. In riferimento ad una prospezione sismica a rifrazione attiva con metodo MASW (A.Bruschi, 2006), effettuata in area circa 150 m a sud – sud ovest, con caratteristiche litotecniche assimilabili a quelle dell’ambito in esame, risulta presente un’unità sismotettonica soggetta ad amplificazione stratigrafica con spessore di 10 m, contraddistinta da $V_{sh} = 300$ m/sec; il valore di V_{s30} corrisponde a 490 m/sec.</p> <p>Nelle fasi di analisi di microzonazione, data la presenza della placca di flysch calcareo marnoso, MCS, che può indurre accentuate condizioni di contrasto di impedenza, sono da effettuarsi approfondimenti di III° livello per la determinazione di VSH, del coefficiente di amplificazione litostratigrafico e per le verifiche di stabilità del versante.</p> <p>In riferimento all’OPCM 3274/03 e NTC 14-01-2008, la categoria dei terreni di fondazione corrisponde a:</p> <p style="text-align: center;">Categoria B</p> <p>In riferimento alle tabelle dell’allegato A.2.1.1. della D.A.L. 112/2007, in funzione dei valori VSH, la successione litosismica, è stimabile sia soggetta ai seguenti fattori di amplificazione dello spettro orizzontale:</p> <p style="text-align: center;">F.A. PGA = 1,8 ÷ 1,9</p> <p>e fattori di amplificazione di intensità sismica:</p> <p style="text-align: center;">F.A. IS 0,1 s < T < 0,5 s = 1,7 ÷ 1,9 F.A. IS 0,5 s < T < 1 s = 1,4 ÷ 1,5</p>
<p>Condizioni e limiti di fattibilità geologica e sismica</p>	<p><i>Caratteristiche principali: coperture eluvio-colluviali, con spessore di 2 ÷ 3 m, seguite da substrato marnoso calcareo al quale soggiacciono argilliti e/o sequenze pelitico marnoso – arenacee, presenza di linee di tensione circa a distanze di 30 e 70 m, presenza di faglia, zona di crinale.</i></p> <p>Area stabile con grado di sicurezza medio – medio basso.</p> <p>Coperture di materiali fini di spessore di 2 - 3 m circa, indagini per la valutazione spessori delle coperture, valutazione di eventuale possibilità di adozione di fondazioni di tipo profondo; regimazione delle acque superficiali e nei primi 4 ÷ 5 m del sottosuolo; interventi di consolidamento del versante eventualmente anche di tipo attivo; per le analisi di microzonazione sismica approfondimenti di III° livello per amplificazione stratigrafica e per le verifiche di stabilità dei versanti; valutazione degli effetti topografici.</p>

E.2.2 Elementi di Analisi locale di secondo livello

L'analisi di secondo livello prevede la definizione dei coefficienti di amplificazione. Nel caso in esame non è stata elaborata una cartografia di microzonazione sismica, ma ci si è limitati a calcolare il fattore di amplificazione, in particolare secondo il metodo riportato nell'Allegato A2 della DGR 112/2007 della Regione Emilia Romagna.

Il valore di a_{refg} per il Comune di Casina è pari a **0.158g**.

Il primo step del calcolo del valore di FA prevede la determinazione della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_{SH} e V_{S30}) del deposito di copertura secondo le formule di seguito riportate.

La velocità delle onde di taglio equivalente nei primi 30 m di sottosuolo al di sotto delle fondazioni è stata determinata attraverso la seguente formula:

$$V_{S30} = 30 / [\sum_{i=1,n} (h_i / V_{Si})]$$

In modo analogo la velocità delle onde di taglio equivalente fino alla profondità del bedrock si determina nel seguente modo:

$$V_{SH} = H / [\sum_{i=1,n} (h_i / V_{Si})]$$

Due prove sismiche eseguite hanno restituito un valore di V_{SH} al piano campagna pari a 299 m/s.

E.2.2.1 Il fattore di amplificazione stratigrafico

Dal momento che l'intervento in esame è ubicato in un ambito di "Appennino e margine appenninico padano" caratterizzato da velocità del substrato <800m/s, si devono usare le tabelle riportate in Figura E.5.

L'analisi delle tabelle ha permesso di ipotizzare per l'area in esame i seguenti fattori di amplificazione: F.A. P.G.A. pari a **1.9**, F.A. INTENSITÀ SPETTRALE (0.1s < To < 0.5s) pari a **1.9** e F.A. INTENSITÀ SPETTRALE (0.5s < To < 1.0s) pari a **1.5**.

I fattori di amplificazione sono espressi in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) e di rapporto di Intensità spettrale o di Housner (SI/SI0) per prefissati intervalli di periodi (0.1s<T0<0.5s e di 0.5s<T0<1.0s), dove PGA0 e SI0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Il valore dell'accelerazione a_{refg} amplificata vale **0.3002g**.

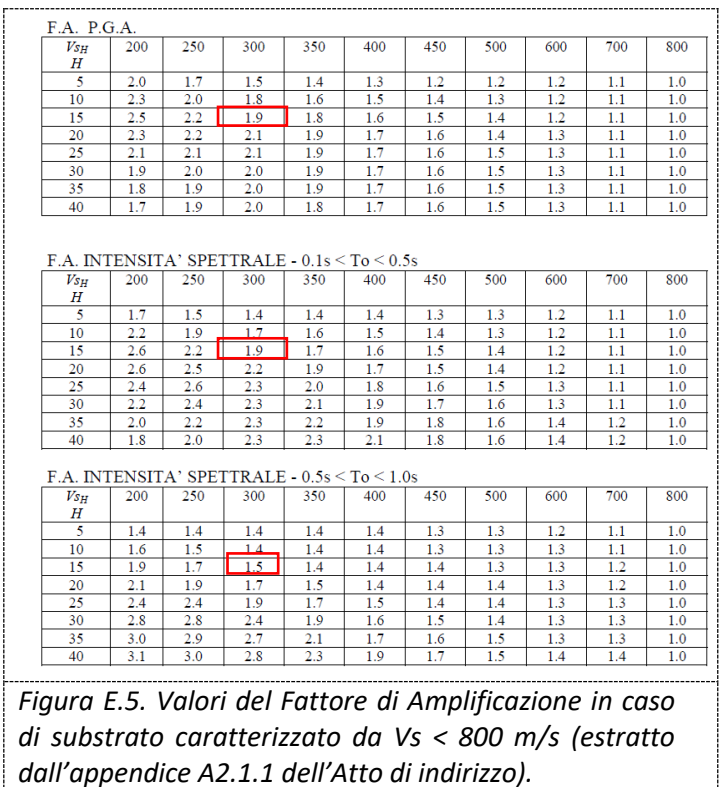


Figura E.5. Valori del Fattore di Amplificazione in caso di substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/s (estratto dall'appendice A2.1.1 dell'Atto di indirizzo).

E.2.3 Elementi di Analisi locale di terzo livello

Il terzo livello di analisi è finalizzato alla valutazione dell'effettivo grado della pericolosità sismica locale.

E.2.3.1 Definizione del profilo del terreno e della profondità del bedrock sismico

Il profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità è stato determinato sulla base dell'indagine HVSR vincolata alle risultanze delle indagini penetrometriche eseguite

E.2.3.2 Definizione del moto di input

La definizione del moto di input è stata eseguita sulla base dei segnali di riferimento della Delibera A.L. 112/2007 della Regione Emilia Romagna, disponibili sul sito www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica per il comune di Casina.

Tali segnali sono scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore di a_{refg} stabilito per il comune di Casina (**0.158g**, allegato A4 della DGR 112/2007).

Si tratta di accelerogrammi reali il cui spettro di risposta è compatibile con lo spettro di risposta del moto atteso nel comune di Casina con un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni) ottenuto moltiplicando lo spettro di risposta normalizzato presente nell'allegato 4 per il valore di a_{refg} del comune. Le elaborazioni dei dati numerici sono riportate nella Figura E.6.

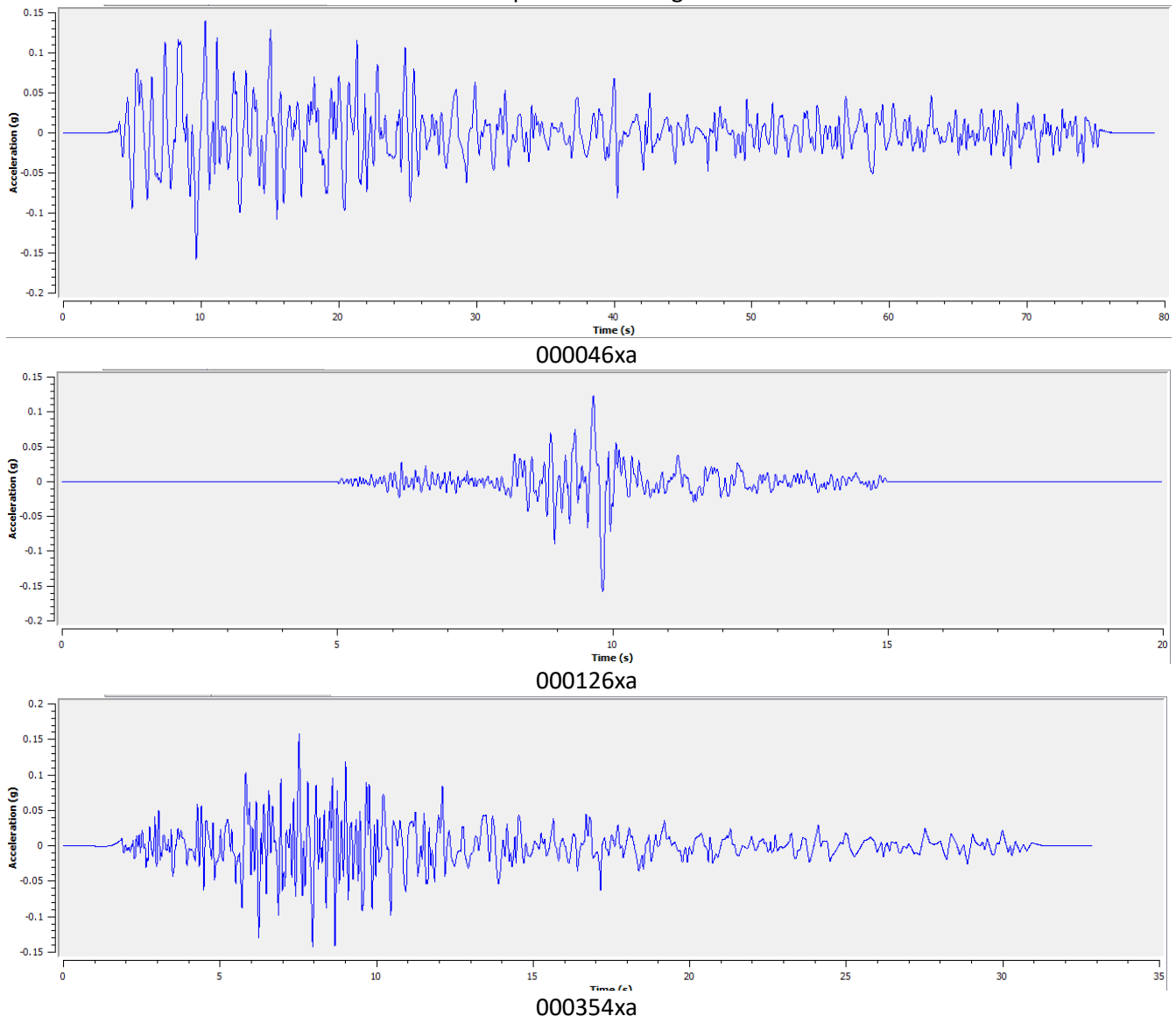


Figura E.6. Accelerogrammi utilizzati per lo studio di risposta sismica locale (dati dal sito www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica).

E.2.3.3 Analisi di risposta sismica locale

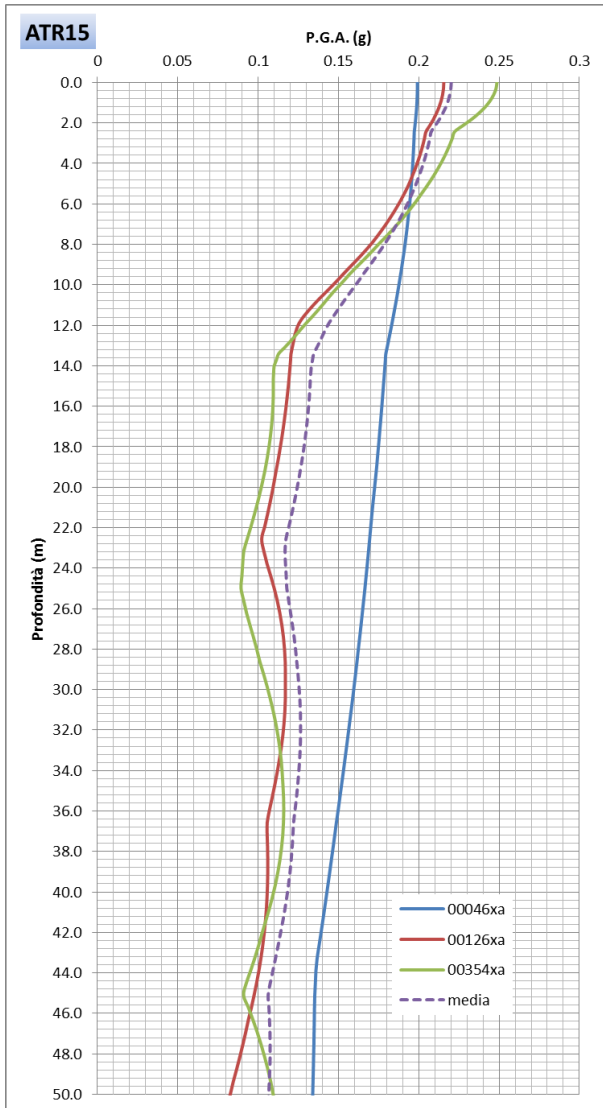
La modellazione quantitativa degli effetti di amplificazione specifici dell'area in esame è stata eseguita tramite l'ausilio dei software EERA²⁰ (Bardet et al., 2000), e Strata²¹ (Kottke et al., 2010) validi per modellare situazioni

²⁰ J. P. Bardet, k. Ichii, and c. H. Lin "EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits

piano-parallele ad uno o più strati (1D). Nella figura successiva si riportano i grafici relativi alla variazione di PGA con la profondità.

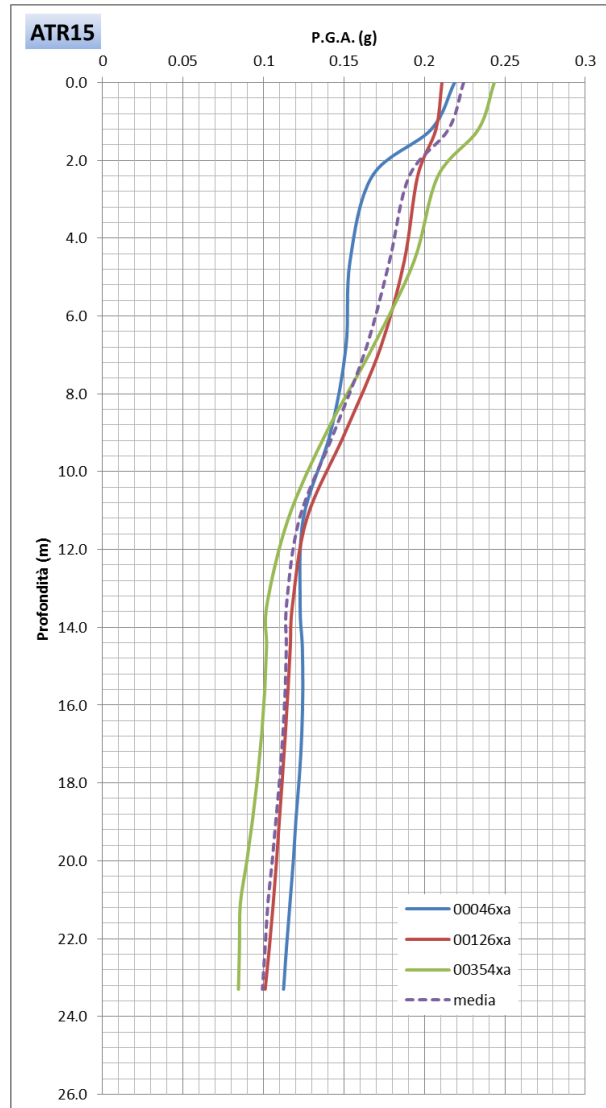
Da cui si ottengono i valori di PGA e dei coefficienti di amplificazione in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀) a livello del piano campagna.

Elaborazione Strata



	PGA	FA di PGA
000046xa	0.199	1.26
000126xa	0.216	1.36
00354xa	0.249	1.57
Valore medio	0.220	1.39

Elaborazione EERA



	PGA	FA di PGA
000046xa	0.219	1.38
000126xa	0.211	1.33
00354xa	0.243	1.54
Valore medio	0.224	1.42

Nella figura seguente si riportano i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate in termini di spettri di risposta al piano campagna per i tre accelerogrammi utilizzati (in nero è riportato anche il valore medio). Per confronto sono riferiti anche gli spettri a probabilità uniforme amplificati (FA PGA pari a 1.42) per il comune di Casina (DGR 112/2007).

²¹ Albert Kottke; Ellen M. Rathje (2010), "Strata," <http://nees.org/resources/692>.

L'esame dei dati risultanti dalle simulazioni numeriche evidenzia che i valori massimi di accelerazione spettrale sono concentrati nell'intervallo di periodo compreso tra 0.1-0.35s, il picco di valore massimo è compreso nell'intervallo di periodo compreso tra 0.1 e 0.3s

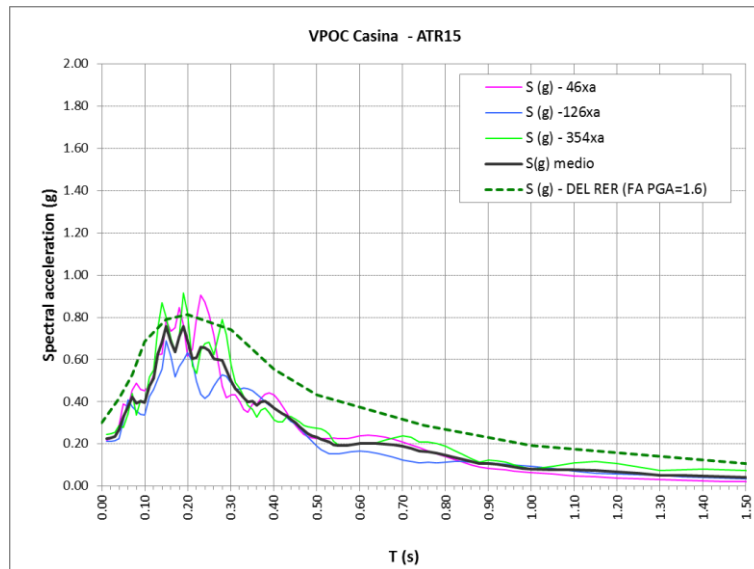


Figura E.7 Spettri di risposta ottenuti (accelerazione in m/s) mediante l'utilizzo del software EERA e spettri a probabilità uniforme amplificati dalla DGR 112/2007 (FA PGA pari a 1.9).

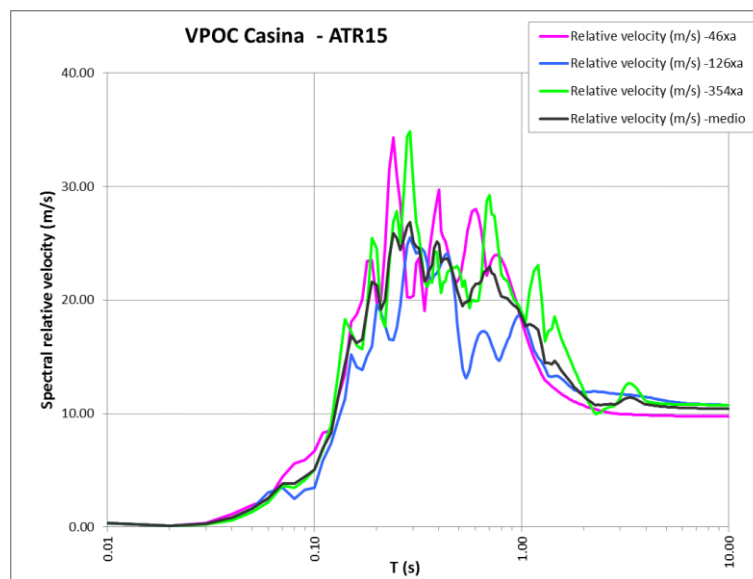


Figura E.8 Spettri di risposta ottenuti (velocità spettrali in m/s).

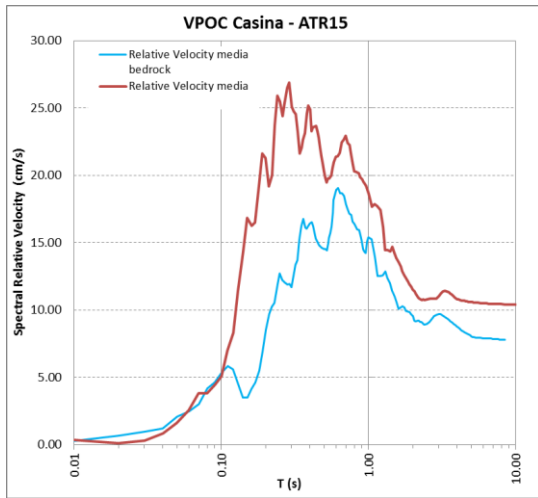


Figura E.9 Spettri di risposta in velocità ottenuti dalle simulazioni con il software EERA.

E' stata inoltre calcolata l'Intensità di Housner (SI) definita come segue

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV \, dT$$

Dove PSV è lo spettro di risposta in velocità (smorzamento $\zeta=5\%$).

Sulla base dei risultati ottenuti dalle analisi numeriche sono stati ricavati i valori dei coefficienti di amplificazione in termini di intensità di Housner (SI/SI_0).

FA Intensità Spettrale $-0.1s < T_0 < 0.5s = 1.95$

FA Intensità Spettrale $0.5s < T_0 < 1.0s = 1.25$

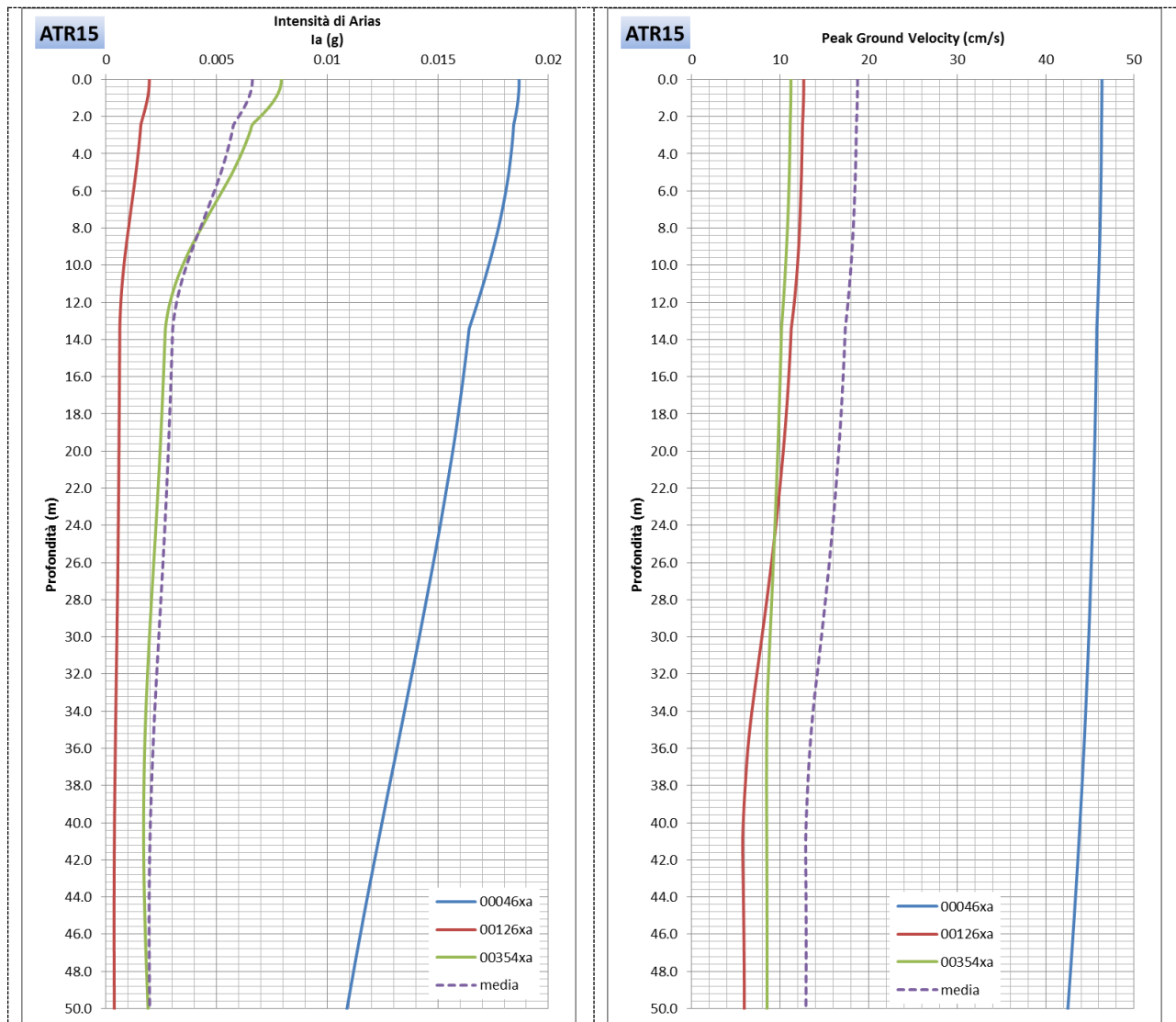


Figura E.10 Profili di Intensità di Arias (Ia) e velocità di picco (cm/s)

E.2.4 Valutazione degli effetti topografici

Per quello che riguarda gli effetti topografici sono stati considerati i possibili effetti di amplificazione dell'onda sismica sia sulla base di quanto indicato nell'allegato A2 della DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna, sia sulla base di quanto indicato dagli ICMS 2008²².

L'analisi eseguita ha permesso di evidenziare che il pendio di interesse [Crinale – Fosso Grisenda] ha pendenza inferiore a 10° pertanto il fattore di amplificazione topografica sia secondo la DAL 112/2007 sia secondo gli ICMS 2008 è risultato pari a 1 [St=1].

E' stato inoltre verificato che la configurazione topografica esistente non si configuri come cresta (sensu IMCS 2008) ed anche in questo caso è possibile escludere tale eventualità in quanto anche il pendio verso il torrente l'Oriolo è risultato con pendenze <10°.

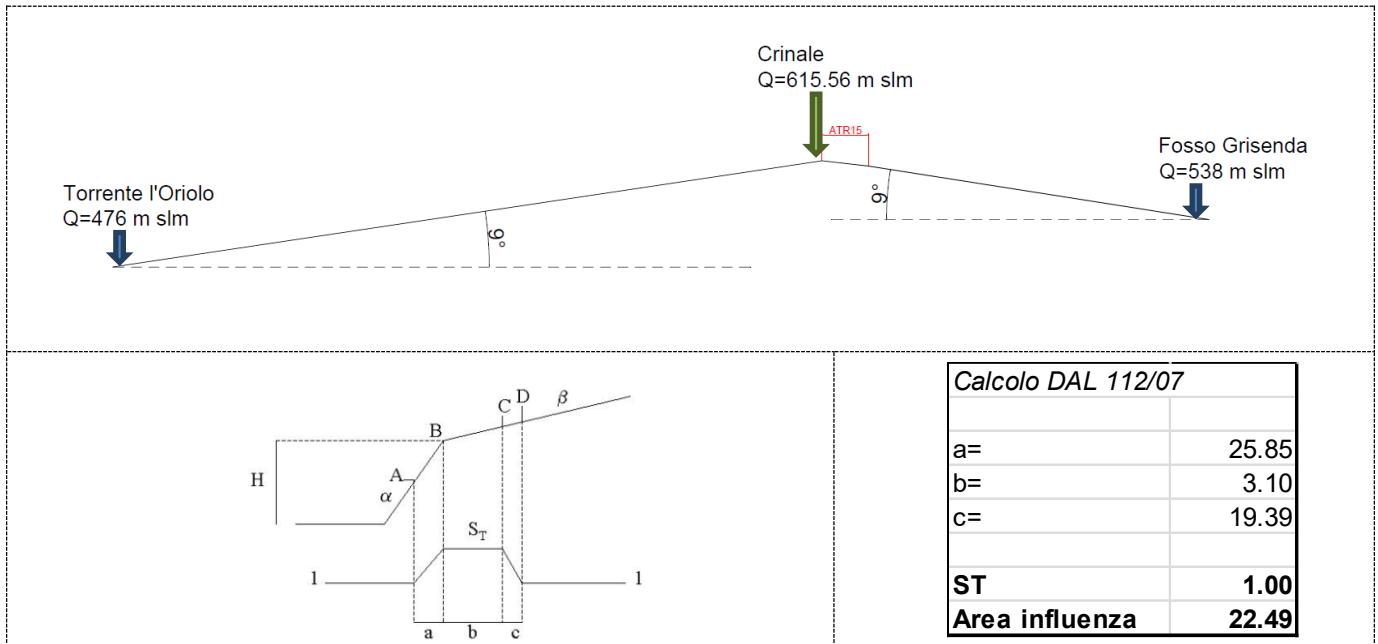


Figura E.11. Scheda per il calcolo delle amplificazioni topografiche secondo la DAL 112/2007

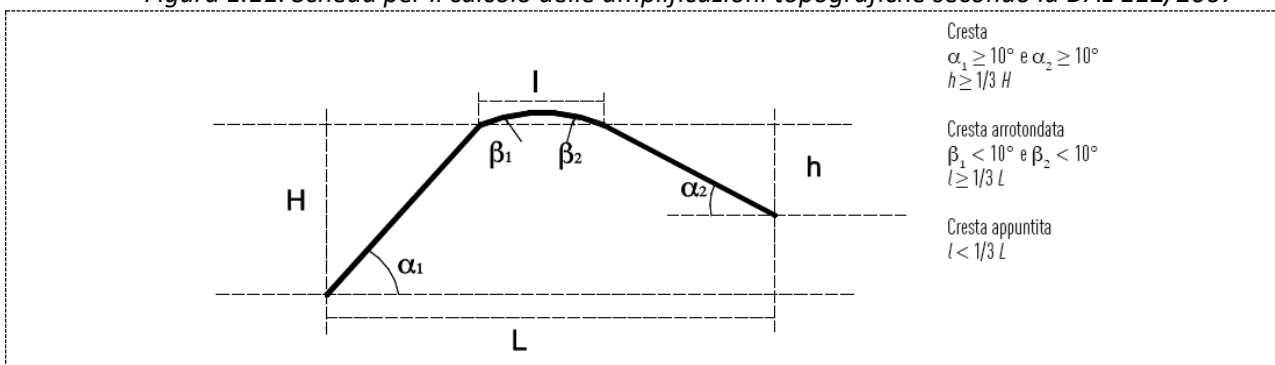


Figura E.12. Schema di riferimento e criteri di riconoscimento per le creste da ICMS 2008

²² Gruppo di Lavoro MS, 2008. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Provincie autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma

F. REQUISITI DI SICUREZZA DEL TERRENO DI FONDAZIONE E STABILITÀ GLOBALE

F.1 Analisi geologica di stabilità del pendio

Per valutare la stabilità del pendio esaminato è stata adottata la seguente procedura:

- ✓ Fase1: Ricostruzione geometrica e geotecnica del versante esaminato
- ✓ Fase 2: Verifica di stabilità in condizioni statiche con pendio indefinito e con equilibrio limite del versante. Determinazione coefficiente di sicurezza F_s .
- ✓ Fase 3. Verifica di stabilità in condizioni pseudostatica del versante. In tale verifica, avendo eseguito una analisi della risposta sismica locale (e quindi con determinazione dei parametri sismici tra cui accelerazioni sismiche, i coefficienti sismici k_h e k_v , l'indice di Arias, la velocità massima etc), sono stati applicati i differenti coefficienti.
- ✓ Fase 4. Analisi di stabilità con metodi dinamici. Procedura di Newmark (più metodi di risoluzione semplificati).

F.1.1 Metodo di calcolo equilibrio limite.

La verifica, che confronta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione E_d con quello di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d , è stata condotta secondo l'approccio 1 con la combinazione 1:

$$- A1+M1+R1 -$$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabella 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC, di seguito riportati per completezza.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.





CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Il livello di sicurezza è espresso come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale. Le NTC08 prevedono un fattore di sicurezza (FS) scelto dal progettista, calcolato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana. Si è optato per un fattore di sicurezza che sia superiore a 1.0

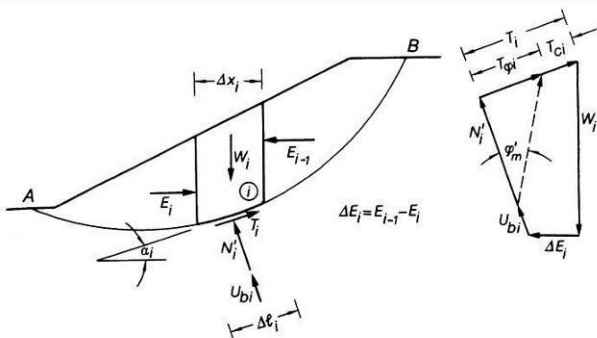
Parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche di stabilità

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
DT		19	Mohr-Coulomb	25	29	None	1
MCS		24	Mohr-Coulomb	25	33.5	None	1
AVV		22	Mohr-Coulomb	8	23.5	None	0
RAN3		23.5	Mohr-Coulomb	35	30	None	0.5

F.1.2 Pendio finito

Le verifiche sono state eseguite utilizzando i metodi di Bishop (1955), Jambu (1955), Spenser (1967) e Morgenstern - Priceed (1965-1968) ipotizzando superfici di scorrimento circolari e non circolari di raggio r, con il materiale coinvolto nella rottura suddiviso in conci di larghezza b (vedi schema riportato di seguito), per ognuna delle quali vengono valutati il momento stabilizzante M_s e il momento ribaltante M_r calcolati rispetto al centro del cerchio.

Il contributo al momento stabilizzante M_s di un concio è fornito in generale dalla resistenza alla base, somma della componente del peso W ortogonale alla base moltiplicata per la tangente dell'angolo di resistenza al taglio ϕ e della eventuale coesione c , moltiplicata per la lunghezza $b/\cos\alpha$, dove α è l'inclinazione della base del concio rispetto all'orizzontale.



Nel caso in esame l'azione di progetto E_d corrisponde al momento ribaltante M_r e la resistenza di progetto R_d al momento stabilizzante M_s ; la verifica viene quindi soddisfatta, considerando il fattore parziale γ_r sulla resistenza di progetto, se:

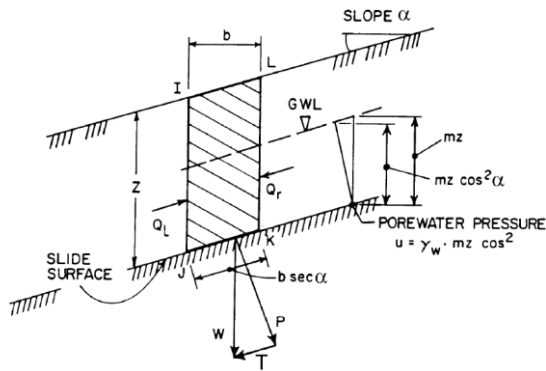
$$E_d \leq R_d \Leftrightarrow M_r \leq \frac{M_s}{\gamma_r}$$

F.1.3 Pendio indefinito

Lo schema di pendio indefinito è applicabile al caso di frane di scorrimento allungate (come la situazione in esame), in cui l'influenza delle porzioni di sommità e di piede è trascurabile.

Lo schema con filtrazione parallela al pendio è spesso utilizzato per verificare la stabilità di una coltre di terreno, relativamente permeabile e di spessore quasi costante, su un substrato roccioso o comunque di terreno non alterato, poco permeabile e stabile, allorché in seguito a prolungate piogge diviene sede di un moto di filtrazione parallelo al pendio. L'altezza della falda viene messa in relazione alla durata e all'intensità della pioggia, ed al coefficiente di assorbimento del terreno.

Nel metodo del pendio infinito la superficie di scorrimento è considerata piana e parallela alla superficie topografica e le condizioni meccaniche ed idrauliche sono assunte costanti lungo tutta la superficie. In queste condizioni le risultanti delle forze interconco sono parallele al pendio, uguali in modulo, ed opposte in verso: le forze si elidono e il problema diventa staticamente determinato.



Essendo nulla la sommatoria delle forze interconio l'espressione generale per il fattore di sicurezza risulta:

$$F = \frac{c' + (\gamma z \cos^2 \alpha - u) \tan \phi'}{\gamma z \sin \alpha \cos \alpha}$$

F.1.4 Condizioni dinamiche

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte mediante l'analisi di tipo pseudo-statico che considera un sistema di forze orizzontali e verticali applicate ai volumi di terreno coinvolti.

Le forze orizzontali di inerzia, dovute alla azione sismica e applicate nel baricentro della massa instabile, sono state considerate con intensità pari a:

$$F_h = Kh \times W$$

dove: Kh= coefficiente sismico orizzontale; W = peso del materiale.

Le forze verticali sono state considerate pari a:

$$F_v = \pm 0.5 \times F_h$$

Il valore di Kh può essere calcolato con formulazioni differenti, derivanti da diverse normative (Eurocodice 8, D.G.R.112/2007, NTC2008) ed autori di seguito riportate:

$$\begin{aligned} Kh_{EC8} &= 0.5 \cdot (a_{max}) \\ Kh_{(Marcuson, 1981)} &= 0.33 \cdot (a_{max}) \\ Kh_{DGR.RER112/2007} &= 0.5 \cdot \gamma_i \cdot a_{gR} / g \\ Kh_{NTC2008} &= \beta \cdot (a_{max}) / g \end{aligned}$$

Dove γ_i è un fattore di importanza che per costruzioni ordinarie risulta pari all'unità; β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito riportato nella seguente tabella 7.11.I, in funzione della categoria di suolo; a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito; g = accelerazione di gravità.

Sulla base di quanto riportato in relazione alle analisi di risposta sismica locale si evidenzia come il valore di a_{max} (PGA) sia variabile in funzione della profondità, poiché si evidenzia come le accelerazioni diminuiscano con la profondità è stato cautelativamente utilizzato il valore di a_{max} al piano campagna [0.224g].

Dal valore di a_{max} si ottiene il valore di Kh_{eq} ottenuto con diverse le diverse formulazioni riportate in precedenza

	Kh_{eq}	Kv_{eq}
EC8 –Linee Guida AGI (2005) ²³	0.112	0.056
(Marcuson, 1981) ²⁴	0.07392	0.03696
DAL.RER n°112/2007	0.112	0.056
NTC2008	0.05376	0.02688

²³ Associazione Geotecnica Italiana (2005): "Linee guida: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" Patron Editore

²⁴ Marcuson W.F. III (1981): "Moderator's report for session on Earth dmas and stability of slopes under dynamic loads" Proc. Of International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and soil Dynamic , St. Louis, vol3.1175

F.1.5 Risultati delle verifiche in condizioni statiche e pseudo statiche

Per le condizioni statiche e pseudo statiche sono state eseguite le seguenti verifiche:

	Statica	Sismica pseudostatica Kh (DAL 112/2007)
Caso 1 pendio naturale Falda al piano campagna	1.1208	-
Caso 2 pendio naturale Condizioni dry		1.279

Le verifiche di stabilità deterministiche indicano un pendio in condizioni naturali stabili sia in situazione statica che sismica.

Si raccomanda l'esecuzione di un sistema di drenaggio superficiale e sotterraneo idoneo in grado di evitare ristagni e ruscellamenti incontrollati nonché emersione di acqua negli scavi.

Di seguito si riportano gli output di calcolo.

CASO 1 – Pendio naturale - **Condizioni statiche** – falda al piano campagna

Analysis Method: bishop simplified

Factor of Safety	1,12076	
Circle Center	0.414	0.178
Radius	155,853	
Circle Endpoint 1	0.332	0.045
Circle Endpoint 2	0.431	0.023
Surface Intercept 1	0.332	0.045
Surface Intercept 2	0.431	0.023

Distance m	Shear Strength kPa	Shear Stress kPa
0.000	19,3194	17,2378
0.004	19,6103	17,4973
0.008	19,8957	17,752
0.012	20,1766	18,0026
0.016	20,4539	18,25
0.020	20,7282	18,4948
0.024	21,0005	18,7377
0.028	21,2712	18,9793
0.032	21,5411	19,2201
0.035	21,8108	19,4607
0.039	22,0808	19,7016
0.043	22,3518	19,9434
0.047	22,6243	20,1866
0.051	22,8989	20,4316
0.055	23,1762	20,679
0.059	23,4568	20,9294
0.063	23,7414	21,1833
0.067	24,0305	21,4412
0.071	24,3249	21,7039
0.075	24,6253	21,972
0.079	24,9325	22,246
0.083	25,2473	22,5269
0.087	25,5706	22,8155
0.091	25,9036	23,1125
0.095	26,2471	23,419

Rd 567,0197
Ed 505,9242

Fs 1,1208

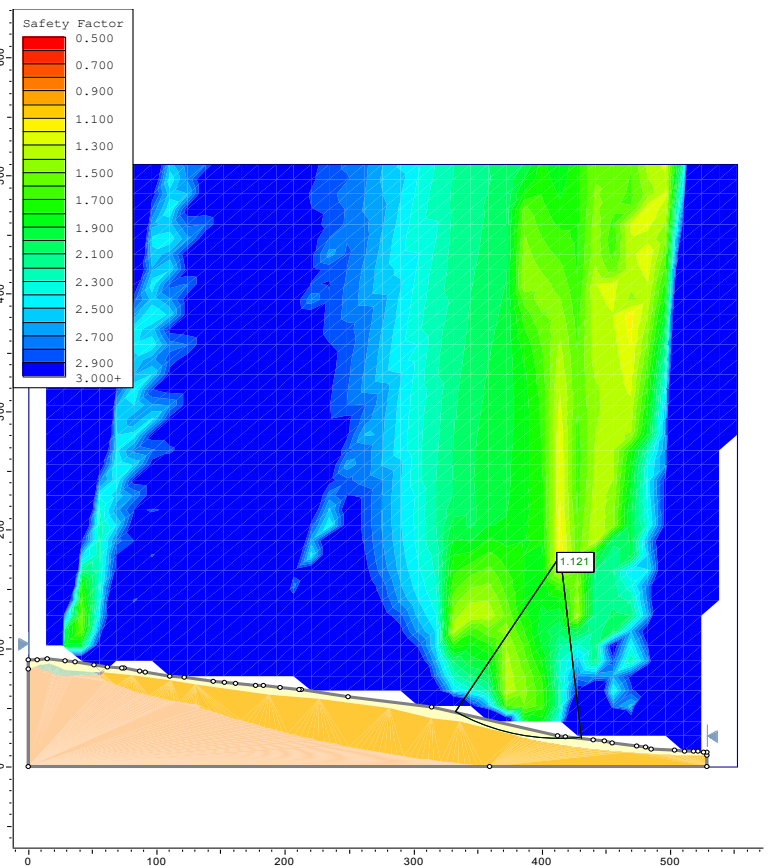
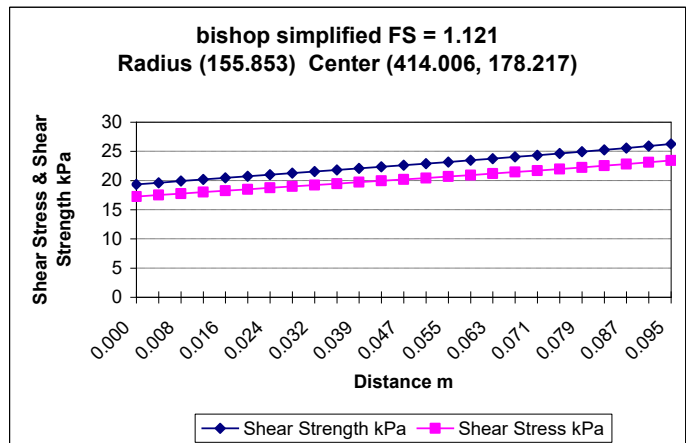


Tabella F.1 Caso 1 – Condizioni statiche

Caso 1 - Pendio naturale - Condizioni sismiche - pseudostatiche

Valore di Kh DAL 112/2007

Analysis Method: bishop simplified

Factor of Safety	1,27909	
Circle Center	0.400	0.356
Radius	356,038	
Circle Endpoint 1	0.192	0.067
Circle Endpoint 2	0.498	0.014
Surface Intercept 1	0.192	0.067
Surface Intercept 2	0.498	0.014

Distance m	Shear Strength kPa	Shear Stress kPa
0.000	47,8822	37,4346
0.012	77,0816	60,2628
0.024	113,018	88,3583
0.036	144,357	112,859
0.049	172,69	135,01
0.061	199,519	155,985
0.073	223,993	175,119
0.085	245,403	191,857
0.098	262,924	205,556
0.110	277,537	216,98
0.122	286,696	224,141
0.134	290,206	226,885
0.146	288,751	225,747
0.159	283,255	221,45
0.171	274,423	214,545
0.183	262,253	205,031
0.195	247,267	193,315
0.208	229,179	179,173
0.220	211,452	165,314
0.232	195,181	152,594
0.244	176,141	137,708
0.256	152,115	118,924
0.269	122,534	95,7981
0.281	88,8651	69,4753
0.293	55,0541	43,0416
Rd	Ed	
4927,777	3852,5637	

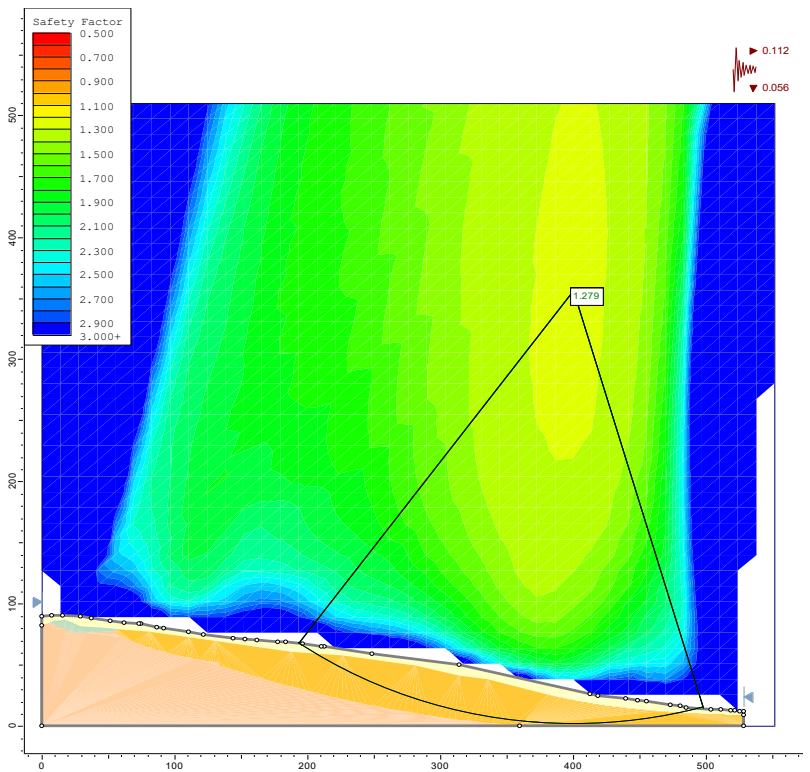
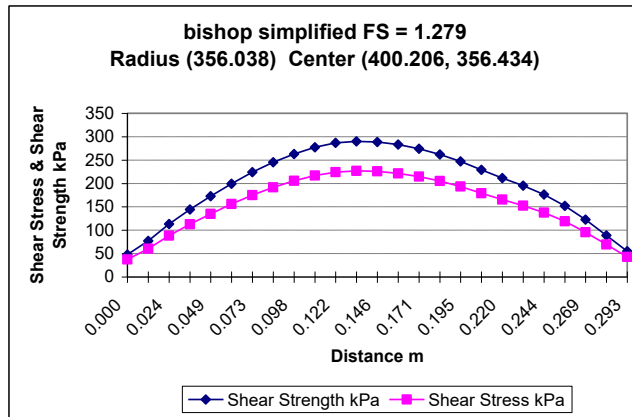


Tabella F.2 Caso 1– Condizioni sismiche – pseudostatiche (valore di Kh DAL 112/2007)

F.1.6 *Analisi di stabilità con metodi dinamici semplificati.*

Al fine di valutare il comportamento del pendio in esame in condizioni dinamiche è stata eseguita un'analisi semplificata secondo il metodo del blocco rigido proposto da Newmark (1965)²⁵, metodo che consente la valutazione degli effetti della storia delle accelerazioni. L'azione sismica viene definita da un'accelerogramma e la risposta del pendio all'azione sismica è valutata in termini di spostamenti accumulati. Ogni volta che l'accelerazione alla base del deposito superficiale a(t) supera il valore di soglia a_c (accelerazione critica) deposito si sposta lungo la superficie di scorrimento.

Gli spostamenti S del pendio vengono espressi con la seguente formula:

$$S = S_0 * A$$

Dove $A = \frac{\cos(\varphi-\alpha)}{\cos\varphi}$ dove φ = angolo di resistenza al taglio del terreno, α = inclinazione della superficie di scorrimento ed S₀ è lo spostamento di un blocco rigido su un piano orizzontale ricavabile dalle seguenti formulazioni:

metodo	spostamento
Newmark (1965)	$S_{0(max)} = \frac{v_{max}^2}{2a_c} \left(\frac{a_{max}}{a_c} \right)$
Whitman e Liao (1984)	$S_{0(av)} = \frac{37v_{max}^2}{a_{max}} e^{-9.4 \frac{a_c}{a_{max}}}$
Jibson (1993)	$\log S_{0(av)} = 1.460 \log I_A - 6.642 \frac{a_c}{g} + 1.546$

Relazioni utilizzate per i calcoli eseguiti (da Linee Guida AGI (2005)²⁶)

Dove v_{max} e a_{max} rappresentano la velocità e l'accelerazione massime del terremoto di progetto, I_A è l'intensità di Arias e a_c è l'accelerazione critica.

$$a_c = k_c * g$$

Il valore di k_c è stato calcolato sia col metodo proposto da Simonelli & Viggiani (1993)²⁷ K_c = tg(φ-α) sia con quello proposto da Newmark (1965) K_c = (FS-1)*sen(α), sia con la formula K_c = (FS-1)* tanα/(1+tanφ*tanα), I risultati dell'analisi eseguita sono riportati nella tabella seguente.

Risultati								per
Newmark (1965)	S0(max)	0.004	m	0.43	cm	S (cm)	0.46	Kc Simoncelli
	S0(max)	0.0158	m	1.58	cm	S (cm)	1.68	Kc Romeo
	S0(max)	0.0168	m	1.68	cm	S (cm)	1.79	Kc Newmark
Withman & Liao (1984)	S0(av)	0.000	m	0.00	cm	S (cm)	0.00	Kc Simoncelli
	S0(av)	0.0050	m	0.50	cm	S (cm)	0.53	Kc Romeo
	S0(av)	0.0037	m	0.37	cm	S (cm)	0.39	Kc Newmark
Jibson (1993)	LOGS0(av)	-20.11	S0(av)	0.00	cm	S (cm)	0.00	Kc Simoncelli
	LOGS0(av)	-0.9448	S0(av)	0.11	cm	S (cm)	0.12	Kc Romeo
	LOGS0(av)	-0.9931	S0(av)	0.10	cm	S (cm)	0.11	Kc Romeo

Gli spostamenti massimi calcolati con il metodo di Newmark hanno fornito valori variabili tra 0.43-1.68 cm in funzione della diversa formulazione utilizzata; i valori degli spostamenti medi calcolati con i metodi di Jibson e Withmann& Liao sono risultati variabili tra 0-0.5 cm.

²⁵ Newmark (1965): "Effects of earthquake on dams and embankments" The fifth Rankine Lecture of the British Geotechnical Society, Geotechnique, 15 (2), 139-160

²⁶ Associazione Geotecnica Italiana (2005): "Linee guida: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" Patron Editore

²⁷ Simonelli A.L., Viggiani C. (1993): "Spostamenti di pendii in condizioni sismiche" gruppo Nazionale di Coordinamento per gli studi di Ingegneria Geotecnica del CNR. 385-388. Ed. SGE Padova

Lo spostamento ammissibile dipende da molteplici fattori tra i quali la natura delle strutture presenti, in mancanza di indicazioni normative si fa riferimento, così come indicato nelle linee guida AGI ad alcune ricerche sintetizzate nella tabella seguente:

Tabella 8.1 - Relazione fra spostamenti osservati e danno strutturale (Legg & Slosson, 1984)

livello di danno	spostamento (cm)
irilevante	< 0.5
modesto	0.5÷5
forte	5÷50
severo	50÷500
catastrofico	> 500

Tabella 8.2 - Spostamenti ammissibili di pendii naturali stabiliti dallo State of Alaska Geotechnical Evaluation Criteria Committee (Idriss, 1985)

livello di danno	spostamento (cm)
V irilevante	< 3
IV modesto	15
III moderato	30
II elevato	90
I catastrofico	300

Il confronto tra i dati ottenuti e le tabelle precedenti evidenzia in entrambi i casi l'ammissibilità degli spostamenti del pendio esaminato [da modesto a irilevante] e la fattibilità dell'intervento.

G. CONSIDERAZIONI FINALI E GIUDIZIO DI FATTIBILITA' GEOLOGICO-SISMICA

Lo studio e le indagini eseguite hanno permesso di evidenziare quanto segue.

- ⇒ Nell'area in esame affiorano i terreni della successione epiligure ed in particolare la Formazione di Ranzano - membro di Varano de' Melegari (RAN3) e della successione ligure ed in particolare il Flysch di Monte Cassio (MCS), e le Argille Varicolori di Cassio (AVV). Il contatto tra MCS – RAN3 – AVV è di natura tettonica; l'area è infatti interessata dalla presenza di una faglia.
- ⇒ L'area in esame risulta esterna ai dissesti censiti nella Tavola P6 del PTCP della Provincia di Reggio Emilia sebbene siano censite a nord ovest ed a sud est due frane attive
- ⇒ Per ottenere informazioni relative alla situazione del sottosuolo sono state eseguite 3 prove penetrometriche di cui una dinamica (DPSH) e due statiche, due misure di microtremore sismico HVSR.
- ⇒ Dal punto di vista idrogeologico durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche, febbraio 2014, è stata rilevata la presenza della falda a profondità comprese tra 2.4 e 2.7 m da p.c.
- ⇒ Il Comune di Casina in base all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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", pubblicata sul Supplemento Ordinario n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003, viene classificato in prima applicazione in **zona 3**.
- ⇒ Il modello geologico e stratigrafico è stato definito in prima fase attraverso la ricostruzione topografica e geologica di dettaglio dell'area eseguendo rilievi geologici e topografici specifici ed in seconda fase effettuando una serie di indagini geognostiche.

Le prove hanno consentito di individuare le seguenti unità geotecniche-geomeccaniche:

- Unità L1: suolo Lo spessore è variabile e compreso tra 0.4 m ed 1.6 m . (Dati caratterizzanti: $N_{spt} = 0.2$, $q_c = 7$ kg/cmq; $V_s = 180$ m/s).
- Unità L2 (a3): detrito di versante. Detrito a granulometria variabile con prevalenza della frazione 2mm-2 cm; frammenti a spigoli vivi ad aspetto caotico. La base del detrito è posta tra 6 ed 8 m dal pc
Dati caratterizzanti: $N_{spt} = 8$, $q_c = 56$ kg/cmq; $V_s = 300-350$ m/s;.
- Unità L3: Substrato roccioso appartenente all'unità del Flysch di Monte Cassio (MCS) che si presenta ,molto alterato e molto fratturato costituito da un'alternanza di calcari e calcari marnosi con argilliti, peliti e marne (aspetto flyscioide); la situazione geostrutturale locale individua condizione dell'ammasso di intensa fatturazione e rende l'unità geotecnica quasi assimilabile ad un deposito incoerente con coesione tendente a zero. Dati caratterizzanti: $N_{spt} > 20$; $q_c > 200$ kg/cmq; $V_s = 300-400$ m/s.
- Unità L4: Substrato roccioso e pseudoroccoso costituito da argilliti prevalenti intervallate da sottili stati arenacei, calcarei e marnosi con rapporto medio A/P $\lll 1$. Unità Geologica delle Argille varicolori [AVV]. Dati caratterizzanti: $V_s = 500-600$ m/s (a profondità maggiori di 14 m). Generalmente molto deformata.
- Unità L5: Substrato roccioso fratturato costituito da un'alternanza di argilliti o peliti e arenarie con rapporto medio A/P $\lll 1$. Unità Geologica della Formazione di Ranzano – membro di Varano Melegari [RAN3]. Dati caratterizzanti: $V_s = 500-600$ m/.

Il modello geologico-tecnico semplificato e la relativa parametrizzazione sono riportati nello schema successivo.

Profondità m dal pc	Litologia	Comportamento	Parametri caratteristici*	
0.0-0.4/1.2	L1. Suolo	Coesivo/granulare	Parametri totali $\gamma_k=18-19/m^3$ $Cu_k= 20-34$ KPa $\Phi_u = 0^\circ$ $Mk= 2-3$ MPa	Parametri efficaci $\gamma_k=17-18$ kN/m ³ $c'_k = 0-5.0$ kPa $\Phi'_k = 26^\circ$
0.4/1.2-6.0/8.0	L2-a3. Detriti di versante/depositi di copertura alla base regolite ed eluviale del substrato (DT)	Coesivo/granulare	Parametri totali $\gamma_k= 19-20$ kN/m ³ $Cu_k= 60-260$ KPa $\Phi_u = 0^\circ$ $Mk= 4-12$ MPa	Parametri efficaci $\gamma_k=20-21$ kN/m ³ $c'_k = 25-30$ kPa $\Phi'_k = 29-32^\circ$
>6.0/8.0	L3 – substrato roccioso alterato e molto fratturato (MCS)	Roccioso Flyscioide molto fratturato / granulare		Parametri efficaci $\gamma_k=24$ kN/m ³ $c'_k = 0.0-50$ kPa $\Phi'_k = 33-34^\circ$
Presente lateralmente al di sotto del detrito o nel lotto posto sotto il lembo di MCS ad una profondità di 13-15 m	L4- Substrato argillitico deformato e fratturato (AVV)	Pseudo Roccioso (argilliti e marne)		Parametri efficaci $\gamma_k=21-23$ kN/m ³ $c'_k = 6-10$ kPa $\Phi'_k = 23-24^\circ$
Presente nella zona di valle del lotto al di sotto del detrito	L5 – Substrato roccioso fratturato (RAN3)	Roccioso-pseudoroccioso Aspettoo flyscioide con argilliti prevalenti)		Parametri efficaci $\gamma_k=23-24$ kN/m ³ $c'_k = 30-40$ kPa $\Phi'_k = 25-36^\circ$

⇒ Le prove sismiche eseguite hanno evidenziato valori di V_{s30} pari a 299 m/s. Gli strumenti urbanistici prevedono un'analisi di terzo livello. In tal senso è stata eseguita una analisi di Risposta Simica Locale attraverso l'elaborazione di tre accelerogrammi tipici dell'area forniti dalla Regione Emilia-Romagna. L'analisi ha permesso di ricavare i valori di amplificazione ed i parametri sismici riportati nelle tabelle seguenti

Elaborazione Strata

	PGA	FA di PGA
000046xa	0.199	1.26
000126xa	0.216	1.36
00354xa	0.249	1.57
Valore medio	0.220	1.39

Elaborazione EERA

	PGA	FA di PGA
000046xa	0.219	1.38
000126xa	0.211	1.33
00354xa	0.243	1.54
Valore medio	0.224	1.42

⇒ Per valutare la stabilità del pendio esaminato è stata adottata la seguente procedura: Fase1: Ricostruzione geometrica e geotecnica del versante esaminato; Fase 2: Verifica di stabilità in condizioni statiche con pendio indefinito e con equilibrio limite del versante. Determinazione coefficiente di sicurezza Fs. Fase 3. Verifica di stabilità in condizioni pseudostatica del versante. In tale verifica, avendo eseguito una analisi della risposta sismica locale (e quindi con determinazione dei parametri sismici tra cui accelerazioni sismiche, i coefficienti sismici kh e kv, l'indice di Arias, la velocità massima etc), sono stati applicati i differenti coefficienti. Fase 4. Analisi di stabilità con metodi dinamici. Procedura di Newmark (più metodi di risoluzione semplificati). Le verifiche eseguite nelle fasi 2 e 3 hanno fornito i seguenti risultati:

	Statica	Sismica pseudostatica Kh (DAL 112/2007)
Caso 1 pendio naturale Falda al piano campagna	1.1208	-
Caso 2 pendio naturale Assenza di falda		1.279

Gli spostamenti massimi calcolati con il metodo di Newmark hanno fornito valori variabili tra 0.43-1.68 cm in funzione della diversa formulazione utilizzata; i valori degli spostamenti medi

calcolati con i metodi di Jibson e Withmann& Liao sono risultati variabili tra 0-0.5 cm. Le verifiche di stabilità deterministiche indicano un pendio in condizioni naturali stabili sia in situazione statica che sismica.

Sulla base delle risultanze delle analisi condotte l'intervento risulta compatibile con le seguenti raccomandazioni:

- ✓ Si raccomanda l'esecuzione di un sistema di drenaggio superficiale e sotterraneo idoneo in grado di evitare ristagni e ruscellamenti incontrollati nonché emersione di acqua negli scavi.
- ✓ Nel caso in cui fossero previsti seminterrati sarà necessario predisporre opere di impermeabilizzazione e/o drenaggio
- ✓ Si suggerisce l'esecuzione di fondazioni tipo platea con incastro minimo di 1.5-2.0m dal p.c. In fase costruttiva il progettista dovrà valutare l'opportunità di eseguire fondazioni profonde.

In considerazione di quanto sopra esposto si ritiene l'intervento geologicamente e sismicamente compatibile purché vengano rispettate le indicazioni contenute nella presente relazione.

Felina, Marzo 2014

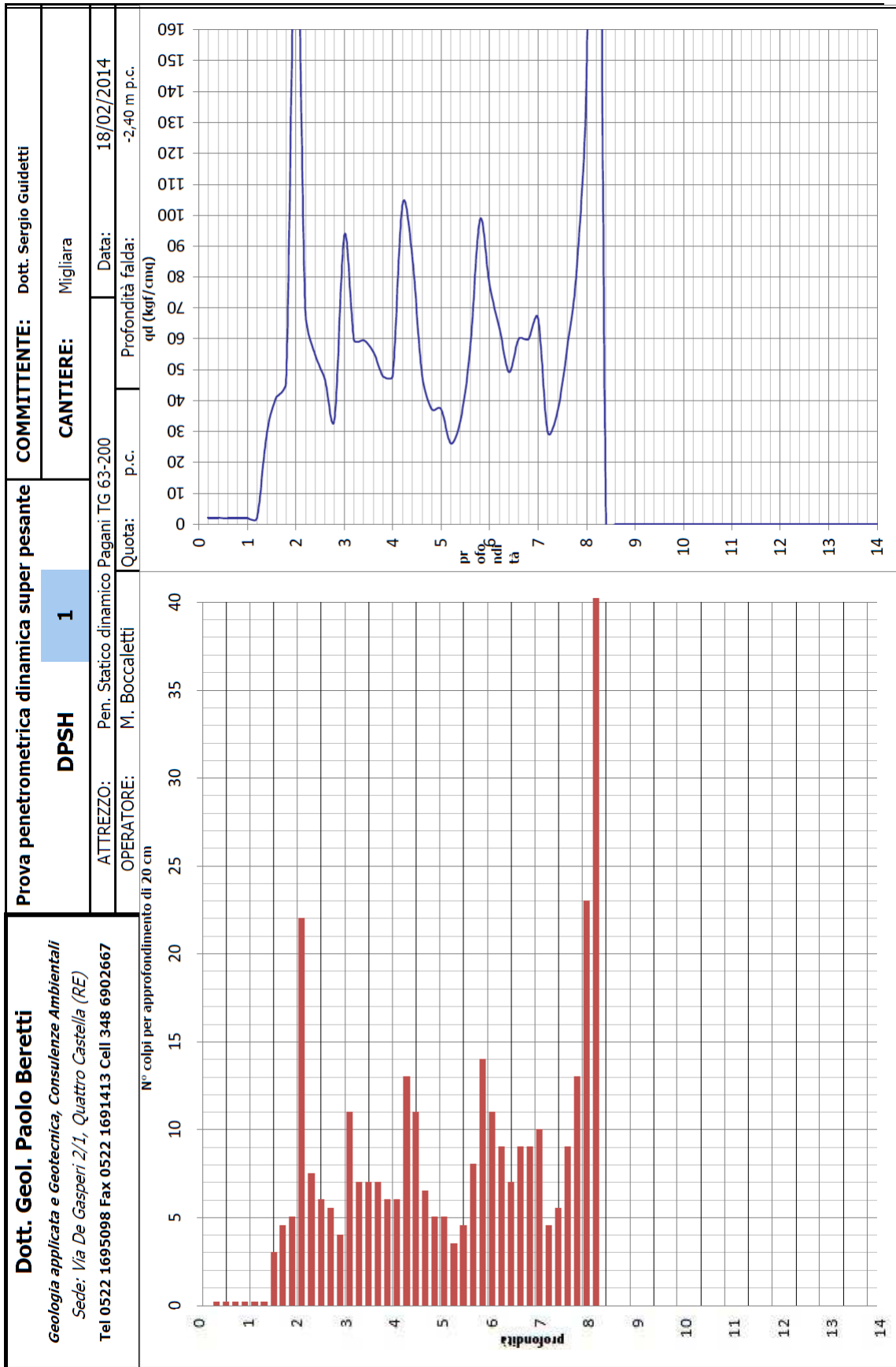


Dott. Geol. Sergio Guidetti

Dott. Geol. Giancarlo Bonini

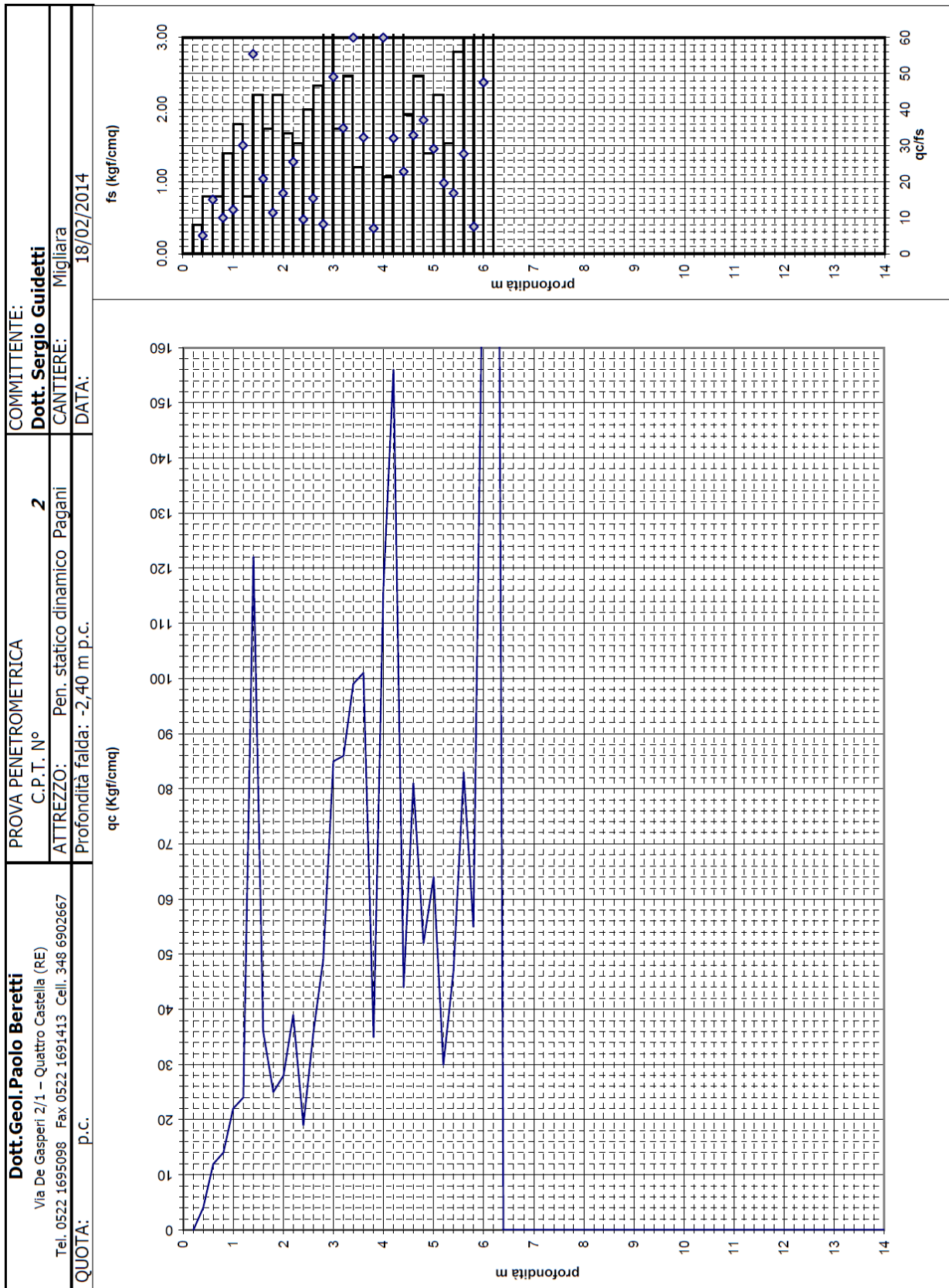
ALLEGATO 1
PROVE PENETROMETRICHE
STATICHE E DINAMICHE

Dott. Geol. Paolo Beretti <i>Geologia applicata e Geotecnica, Consulenze Ambientali</i> Sede: Via De Gasperi 2/1, Quattro Castella (RE) Tel 0522 1695098 Fax 0522 1691413 Cell 348 6902667			Prova penetrometrica dinamica super pesante DPSH 1			COMMITTENTE: Dott. Sergio Guidetti CANTIERE: Migliara		
ATTREZZO: Pen. Statico dinamico Pagani TG 63-200			Data: 18/02/2014			Profondità falda: -2,40 m p.c.		
OPERATORE: M. Boccaletti			Quota: p.c.					
Letture di campagna e elaborazioni								
Asta n°	PROF. m.	Numero colpi	qd kgf/cm ²	Asta n°	PROF. m.	Numero colpi	qd kgf/cm ²	Caratteristiche strumentali
1	0.2	0.2	2.15	6	5.2	3.5	26.15	Peso Maglio (kg)
1	0.4	0.2	2.15	6	5.4	4.5	33.62	Volata (cm)
2	0.6	0.2	1.98	7	5.6	8	56.32	Aste (Kg al m)
2	0.8	0.2	1.98	7	5.8	14	98.55	Area della punta (cm ²)
2	1	0.2	1.98	7	6	11	77.43	Peso inclinide
2	1.2	0.2	1.98	7	6.2	9	63.36	Avanzamento (cm)
2	1.4	3	29.69	7	6.4	7	49.28	Angolo punta
3	1.6	4.5	41.19	8	6.6	9	59.90	
3	1.8	5	45.77	8	6.8	9	59.90	
3	2	22	201.37	8	7	10	66.55	
3	2.2	7.5	68.65	8	7.2	4.5	29.95	
3	2.4	6	54.92	8	7.4	5.5	36.60	
4	2.6	5.5	46.83	9	7.6	9	56.80	
4	2.8	4	34.06	9	7.8	13	82.04	
4	3	11	93.65	9	8	23	145.15	
4	3.2	7	59.60	9	8.2	60	378.65	
4	3.4	7	59.60	9	8.4			
5	3.6	7	55.71	10	8.6			
5	3.8	6	47.75	10	8.8			
5	4	6	47.75	10	9			
5	4.2	13	103.46	10	9.2			
5	4.4	11	87.54	10	9.4			
6	4.6	6.5	48.56	11	9.6			
6	4.8	5	37.35	11	9.8			
6	5	5	37.35	11	10			



Dott. Geol. Paolo Beretti		Prova penetrometrica statica		COMMITTENTE: Dott. Sergio Guidetti										
<i>Geologia applicata e Geotecnica, Consulenze Ambientali</i>		CPT		CANTIERE: Migliara										
Via De Gasperi 2/1 - 42020 Quattro Castella (RE)		2		Data: 18/02/2014										
Tel.0522 1695098 Fax 0522 1691413 Cell. 348 6902667		Pen. Statico dinamico Pagani TG 63-200		Profondità falda: -2,40 m p.c.										
		OPERATORE: Dr. Beretti												
Letture di campagna e elaborazioni														
PROF.	qc kgf/cmq	RI kgf/cmq	fs kgf/cmq	qc/fs	PROF.	qc kgf/cmq	RI kgf/cmq	fs kgf/cmq	qc/fs	PROF.	qc kgf/cmq	RI kgf/cmq	fs kgf/cmq	qc/fs
0.2					5.2	30	63	1.53	19.6	10.2				
0.4	4	10	0.80	5.0	5.4	47	70	2.80	16.8	10.4				
0.6	12	24	0.80	15.0	5.6	83	125	3.00	27.7	10.6				
0.8	14	26	1.40	10.0	5.8	55	100	7.33	7.5	10.8				
1.0	22	43	1.80	12.2	6.0	190	300	4.00	47.5	11.0				
1.2	24	51	0.80	30.0	6.2	400	460			11.2				
1.4	122	134	2.20	55.5	6.4					11.4				
1.6	36	69	1.73	20.8	6.6					11.6				
1.8	25	51	2.20	11.4	6.8					11.8				
2.0	28	61	1.67	16.8	7.0					12.0				
2.2	39	64	1.53	25.4	7.2					12.2				
2.4	19	42	2.00	9.5	7.4					12.4				
2.6	36	66	2.33	15.4	7.6					12.6				
2.8	49	84	6.00	8.2	7.8					12.8				
3.0	85	175	1.73	49.0	8.0					13.0				
3.2	86	112	2.47	34.9	8.2					13.2				
3.4	99	136	1.20	82.5	8.4					13.4				
3.6	101	119	3.13	32.2	8.6					13.6				
3.8	35	82	4.93	7.1	8.8					13.8				
4.0	116	190	1.07	108.8	9.0					14.0				
4.2	156	172	4.87	32.1	9.2					14.2				
4.4	44	117	1.93	22.8	9.4					14.4				
4.6	81	110	2.47	32.8	9.6					14.6				
4.8	52	89	1.40	37.1	9.8					14.8				
5.0	64	85	2.20	29.1	10.0					15.0				

LEGENDA: qc = resistenza alla punta; RI = resistenza laterale; fs = resistenza ad attrito laterale locale; qc/fs = rapporto di Begemann



ALLEGATO 2
INDAGINI SISMICHE PASSIVE

Premessa

La prova H/V valuta sperimentalmente i rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno.

Le vibrazioni ambientali sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze $10^{-4} - 10^{-2}$ mm dovute a diverse sorgenti quali ad esempio onde marine e perturbazioni atmosferiche (campo d'onda a frequenze inferiori a 0.5Hz), vento, traffico veicolare e attività industriali (campo d'onda a frequenze superiori a 0.5Hz).

La struttura del campo d'onde presente sul terreno (microtremore) è pertanto condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti ma anche dalle proprietà dei terreni attraversati, infatti in presenza di campo d'onde diffuso (sorgenti distribuite in modo statisticamente omogeneo) la struttura media del segnale risulterà statisticamente indipendente dalla natura e posizione delle sorgenti, ma rifletterà la struttura del sottosuolo. La struttura del segnale registrato in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde.

Misurando il rapporto H/V (con H componente orizzontale e V componente verticale) determinabile dai microtremori (le oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici) si può identificare in maniera passiva la frequenza di risonanza del sottosuolo, che risulta in relazione diretta con l'amplificazione sismica.

La trattazione classica di Nakamura prevedrebbe il coinvolgimento delle onde di corpo (S e P) mentre le evidenze teoriche e sperimentali più recenti portano a concludere che il fattore principale che determina la curva H/V sperimentale sia dato invece dalle onde di superficie (più specificatamente dall'ellitticità, cioè appunto dal rapporto che sussiste tra le componenti orizzontali e quella verticale).

Strumentazione

Lo strumento è costituito da una terna di geofoni (due orizzontali disposti perpendicolarmente, il terzo verticale) in grado di rispondere allo stesso modo ad una medesima sollecitazione.

Le acquisizioni durano normalmente circa 20 minuti. Le frequenze che interessano l'ambito geologico-ingegneristico sono comprese nell'intervallo tra i 0.5 e i 20 Hz.

Per la campagna di indagine è stato utilizzato un sismografo Micromed Tromino Zero 3G con una frequenza di campionamento di 128Hz ed un tempo di registrazione di 20 minuti. L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software Grilla della Micromed, impostando la lunghezza delle finestre a 20s e lisciamento con finestra triangolare di ampiezza 10%.



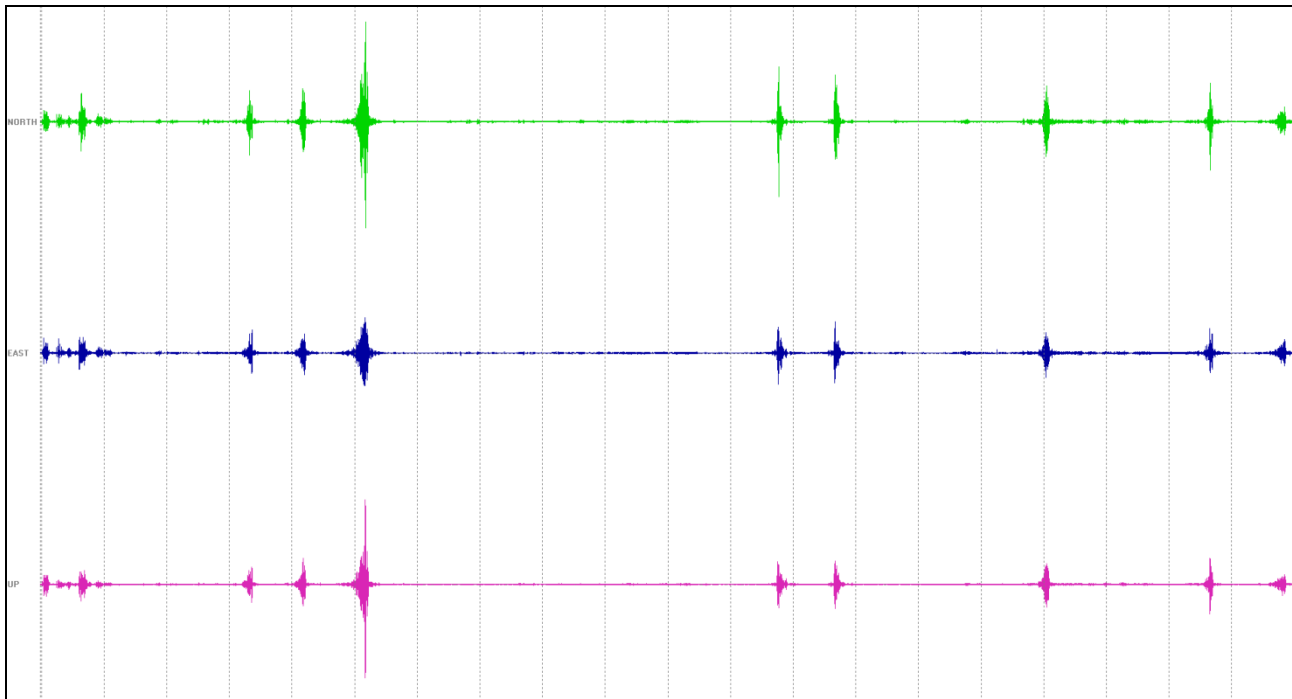
VPOC CASINA, CASE BELEO HV1 ATR15

Strumento: TZ3-0013/01-13
 Formato dati: 32 byte
 Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 07/03/14 14:54:04
 Fine registrazione: 07/03/14 15:14:04
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS *Longitudine* :1616699
 Latitudine :4928567
 Quota:610.88 m slm



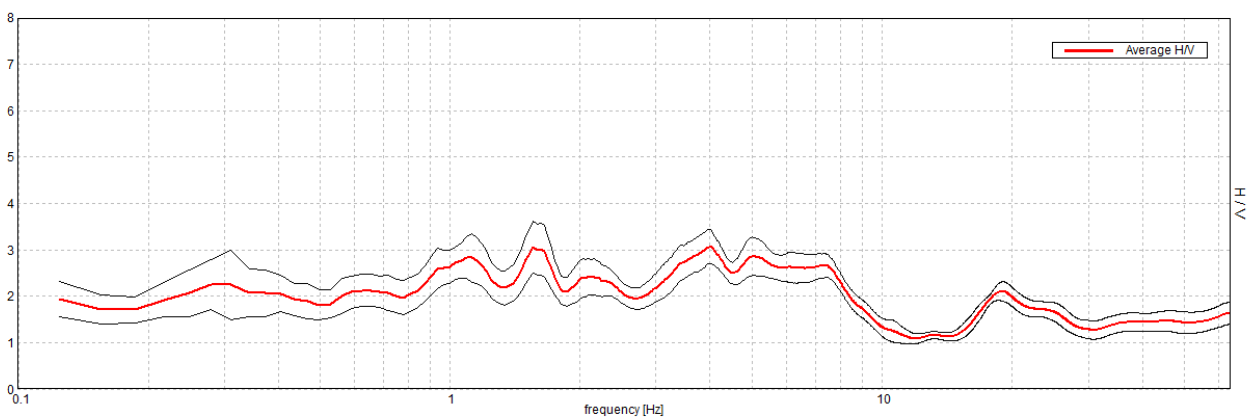
Durata registrazione: 0h20'00".
 Analizzato 50% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

TIME HISTORY

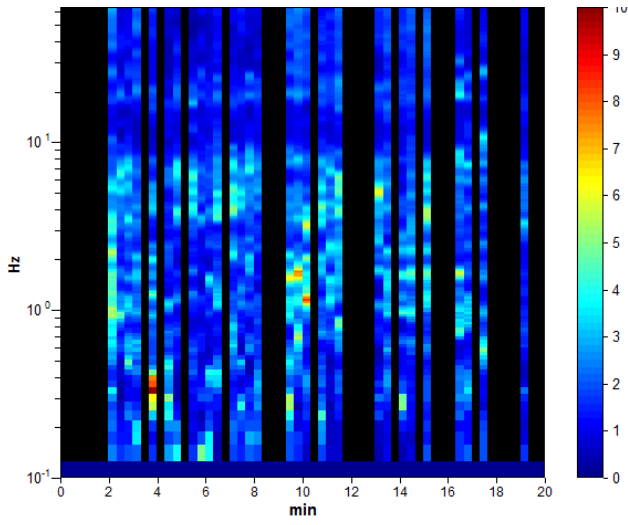


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

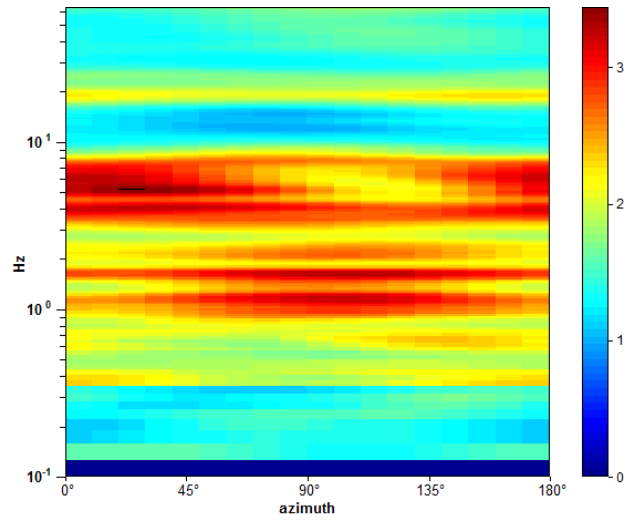
Picco H/V a 3.97 ± 1.93 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



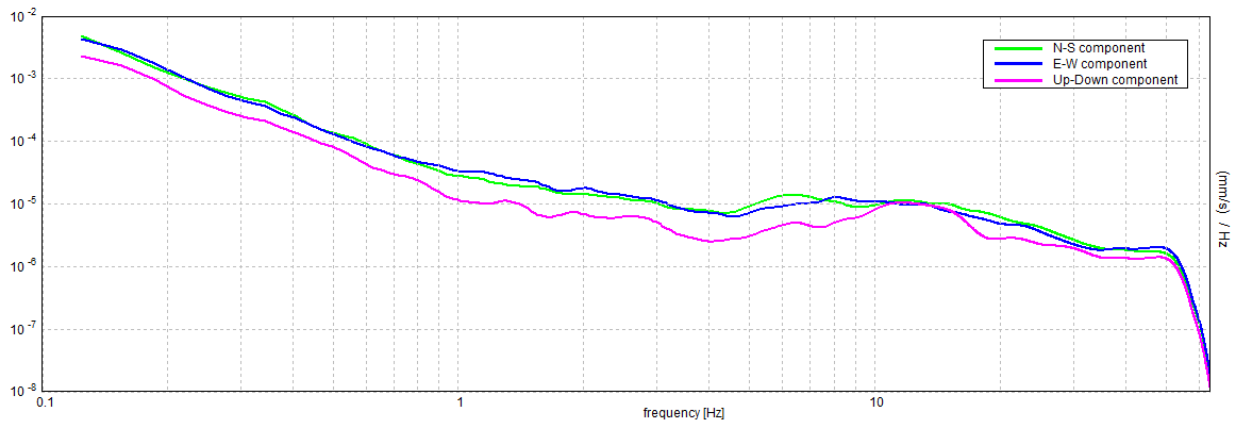
SERIE TEMPORALE H/V



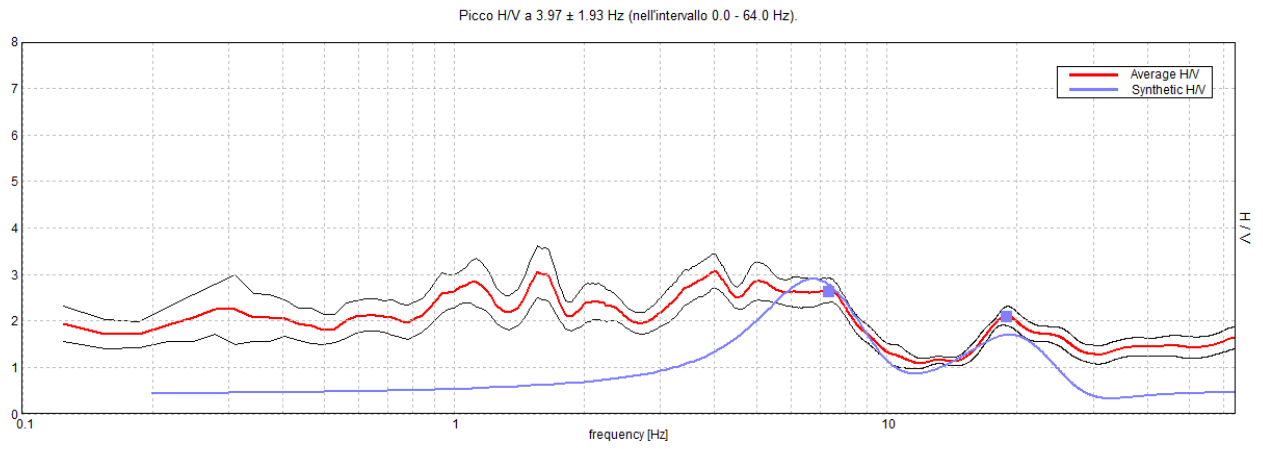
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

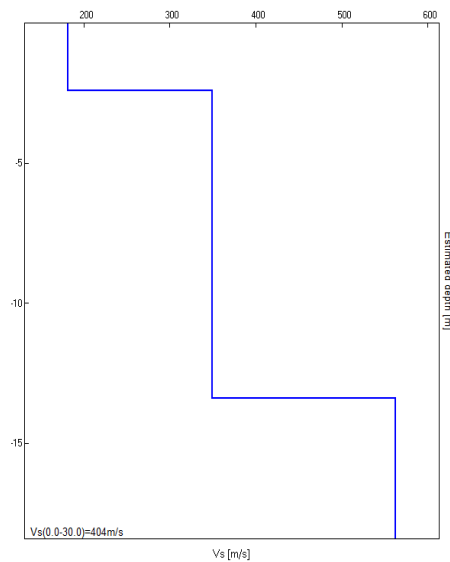


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.40	2.40	181	0.42
13.40	11.00	349	0.42
inf.	inf.	563	0.42

Vs(0.0-30.0)=404m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005].

Picco H/V a 3.97 ± 1.93 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$3.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2381.3 > 200$	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 192	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.07 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.48734 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.93411 < 0.19844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3781 < 1.58$	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

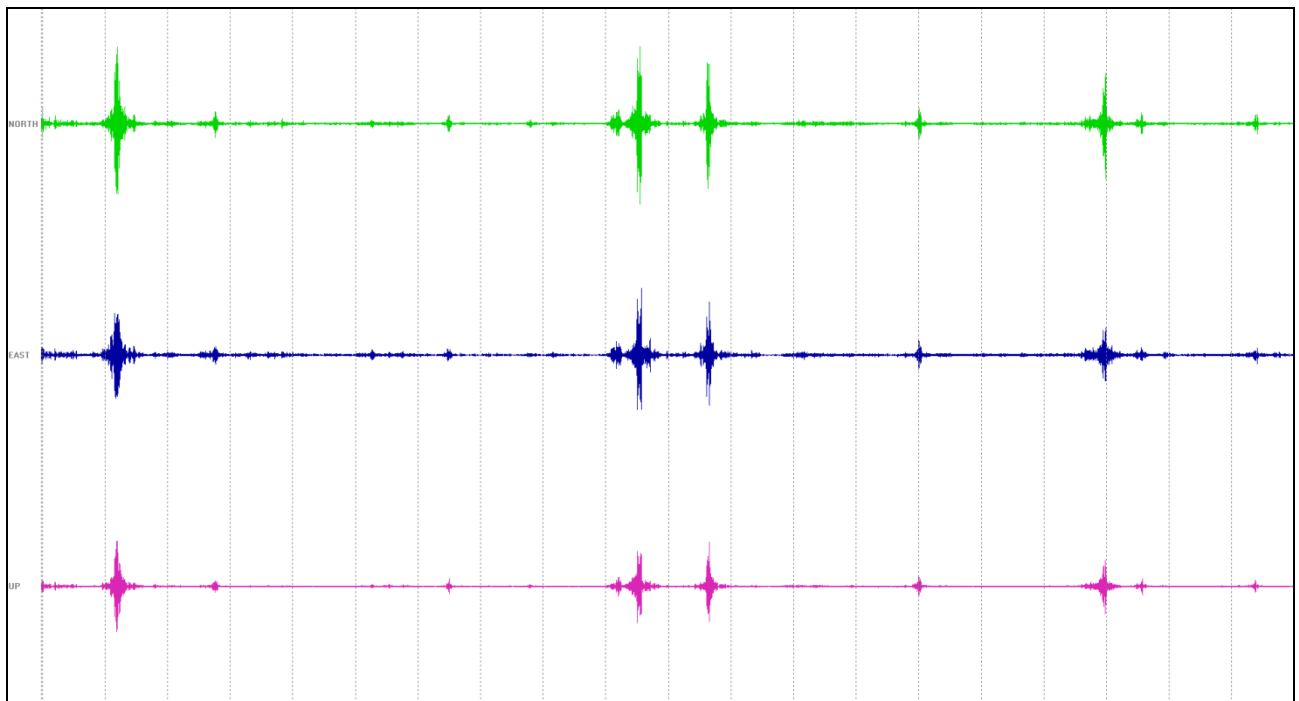
VPOC CASINA, CASE BELEO HV2 ATR15

Strumento: TZ3-0013/01-13
 Formato dati: 32 byte
 Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 07/03/14 15:22:04
 Fine registrazione: 07/03/14 15:42:04
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS *Longitudine* :1616681
 Latitudine :4928589
 Quota:614.38 m slm



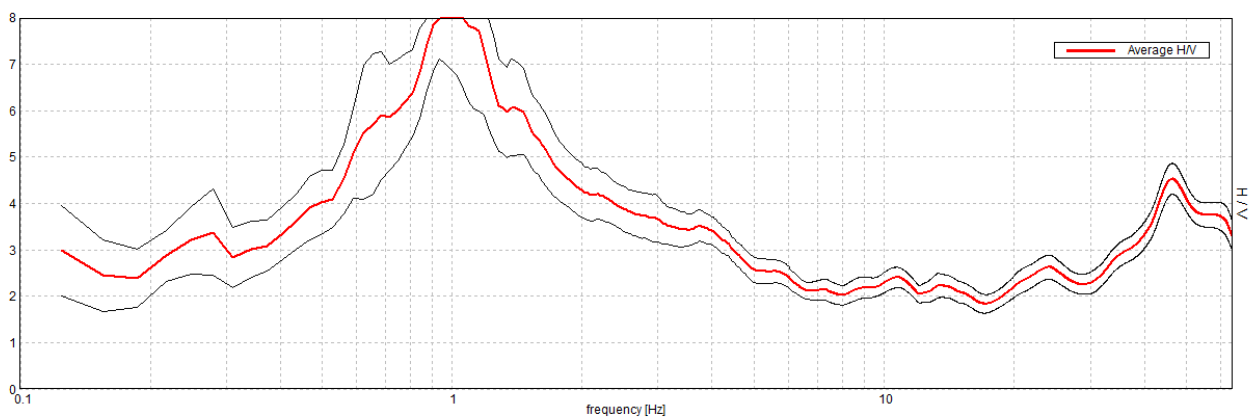
Durata registrazione: 0h20'00".
 Analizzato 87% tracciato (selezione automatica)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

TIME HISTORY

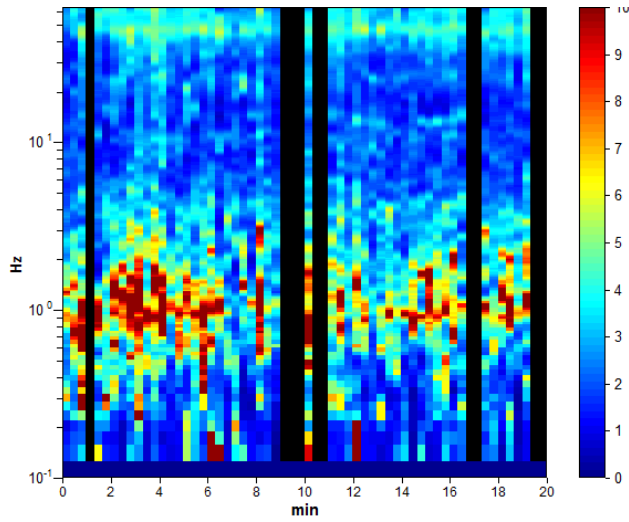


RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

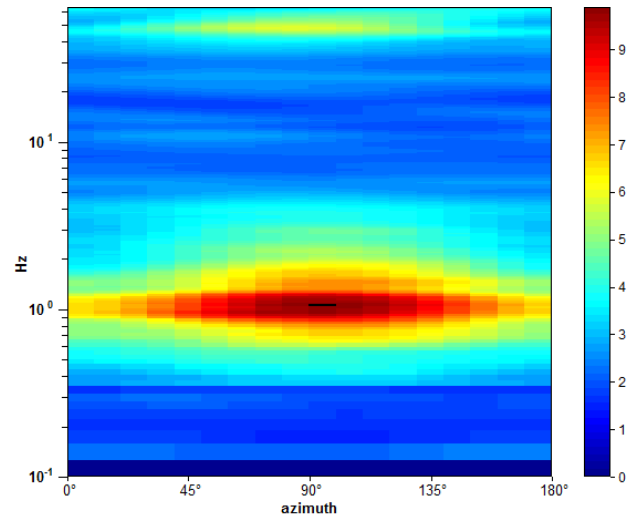
Max. H/V at 0.94 ± 0.23 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



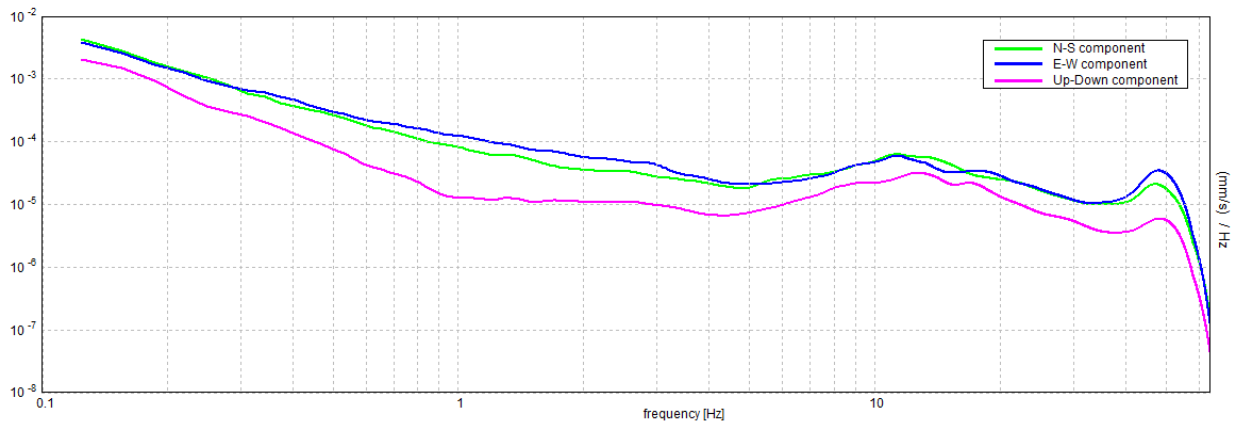
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005].

Picco H/V a 0.94 ± 0.23 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	937.5 > 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 46	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.5 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.15 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.24111 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.22604 < 0.14063		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0309 < 2.0	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