

ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

Empedocle 2 s.c.p.a

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI

Ing. CARLO DAMIANI

STRUTTURA OPERATIVA DI DIREZIONE LAVORI

ITALCONSULT

VERIFICA DI ATTUAZIONE EX art. 185 c.6 e 7 del D.lgs 163/2006 -
FASE 2

ALLEGATO 7B - Progetto del nuovo sito di deposito finale denominato
"Cava Sillitti" - Relazione geologica

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001											6752-05	
Codice Elaborato:											6752-05	
PA12_09 - VA 0 0 0 V A 2 0 1 V A 0 3 Z R D 0 0 6 A											Scala:	
F												
E												
D												
C												
B												
A	Marzo 2018	EMISSIONE				VAMIRGEOIND					P. PAGLINI	
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO		VERIFICATO		APPROVATO	AUTORIZZATO	

Responsabile del procedimento: Ing. ETTORE DE CESBRON DE LA GRENNELAIS

ANAS SPA

***CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO – NORD EUROPA -
ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 - S.S. N° 640
“DI PORTO EMPEDOCLE” - AMMODERNAMENTO E ADEGUA-
MENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 – DAL KM 44+000 ALLO
SVINCOLO CON L’A19***

PIANO DI UTILIZZO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

INTERVENTO DI RECUPERO AMBIENTALE CAVA SILLITTI

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

1. PREMESSE

Il presente studio geologico-tecnico, in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M.17/01/2018), prevede l'esecuzione di tutti i rilievi e le indagini necessarie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti ante e post operam;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che interferiscono con le opere in progetto;

- indicare eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la sicurezza delle opere in progetto.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

a) Studio geologico dell'area interessata comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l'indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

b) Studio geomorfologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

c) Studio idrogeologico dell'area interessata comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla loro interferenza con le problematiche geotecniche, allo smaltimento delle acque dilavanti ed all'individuazione delle aree soggette ad esondazione.

d) Studio delle pericolosità geologiche dell'area interessata comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da "pericolosità geologiche" quali frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, liquefazione dei terreni, vulnerabilità degli acquiferi rappresentando, cioè, un'attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti.

e) Studio della pericolosità sismica locale comprendente l'esecuzione di specifiche indagini sismiche atte ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, liquefazione, cedimenti ed instabilità.

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal

progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle condizioni di stabilità dei versanti, sullo stato degli agenti morfogenetici attivi e sulla presenza e profondità di eventuali falde freatiche.

Si è ritenuto utile, a tal fine, di integrare lo studio con una dettagliata analisi aereofotogeologica eseguita su foto aeree in scala 1/10.000 circa che ci ha permesso di verificare ed individuare tutte le problematiche di carattere geomorfologico di area vasta che con i rilievi di superficie non sempre è possibile studiare.

Per la definizione delle problematiche sismiche dell'area in studio sono stati eseguiti n. 2 profili di sismica passiva a stazione singola (tromografia) eseguiti a piano campagna per definire le velocità delle onde sismiche Vs nei primi 30 m di profondità a partire dal p.c. e per ottenere informazioni sugli spessori dei litotipi.

Infine, per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni sono stati utilizzati i dati derivanti dalle prove di laboratorio effettuati sui terreni dello stesso tipo litologico nell'ambito del progetto esecutivo nonché quelli ricavati dalle pubblicazioni scientifiche e dall'esperienza maturata su questi terreni.

I risultati sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Alla presente relazione si allegano i seguenti elaborati:

- ✓ corografia con l'ubicazione dell'area in studio in scala 1/20.000;
- ✓ carta geologica in scala 1/2.000;
- ✓ carta geomorfologica ed idrogeologica in scala 1/2.000;
- ✓ stralci delle carte relative al "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) redatte negli anni 2005 e 2011

dall'Assessorato Territorio e Ambiente – Servizio 4 “Assetto del territorio e difesa del suolo”, con l'ubicazione dell'area interessata delle opere in progetto;

- ✓ planimetria in scala 1/2.000 con l'ubicazione delle indagini tromografiche;
- ✓ elaborati relativi ai sondaggi di sismica passiva a stazione singola (tromografia);
- ✓ documentazione fotografica delle indagini eseguite;
- ✓ carta schematica della classificazione sismica tratta dal sito del D.P.C. (Dipartimento della Protezione Civile).

COROGRAFIA



 Area in studio

Scala 1/20.000

2. *CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE*

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi effettuati direttamente nell'area strettamente interessata dallo studio.

L'insieme dei terreni presenti, delle relative aree di affioramento e dei rapporti stratigrafici e strutturali è riportato nella carta geologica allegata alla presente relazione.

I tipi litologici affioranti nell'area studiata sono riferibili ad un ampio periodo di tempo che va dal Tortoniano-Messiniano e all'Attuale e che distinguiamo dal più recente al più antico.

Entrando nel particolare, i terreni affioranti sono:

- ✓ **FM. GESSOSO-SOLFIFERA (Messiniano):** In generale la serie Gessoso-Solfifera è data da una successione di sedimenti prevalentemente evaporitici depositatisi nel Messiniano in seguito all'evaporazione dell'acqua di mare all'interno di ampi bacini. Pur con alcune incertezze il limite inferiore della Formazione viene generalmente definito con la sedimentazione di un tipo litologico noto in letteratura come Tripoli a cui in successione seguono: 1) Calcari di base; 2) Argille gessose; 3) Gessi; 4) Sali. Nell'area in studio, la suddetta formazione è presente in affioramento con i calcari di Base la cui descrizione è riportata di seguito.

1. **Calcari di base:** E' una roccia carbonatica a volte ben stratificata, a volte massiccia e brecciata, sempre fratturata. Dove la stratificazione è evidente la massa rocciosa è suddivisa in banchi dello spessore di m.1-2 fra i quali si trovano intercalati sottili livelli marnosi ed

argillosi. Quando, invece, la stratificazione non è evidente il calcare assume un aspetto brecciato talora cavernoso, talora spugnoso con vacuoli da grandi a medi. Questa distinzione tra i due tipi di calcari risultava particolarmente importante nelle ricerche solfifere in relazione al fatto che lo zolfo si rinviene nel calcare vacuolare nella zona di contatto con i sovrastanti gessi (calcare “perciulato”). Il calcare di base petrograficamente è caratterizzato da una bassa percentuale di CaCO_3 che solo raramente raggiunge il 70%, mentre relativamente abbondante è la presenza di carbonato di magnesio tanto che più appropriatamente dovrebbe chiamarsi “calcare dolomitico”.

- ✓ **FM. TERRAVECCHIA (Tortoniano-Messiniano inf.):** Questa formazione è stata introdotta da Schmidt di Friedberg nel 1962 e prende il nome dalla località tipo: il fianco settentrionale di Cozzo Terravecchia, circa 2 km a nord di S. Caterina Villarmosa. I depositi sono costituiti in basso da una sequenza conglomeratica più o meno potente, passante verso l'alto a sabbie, arenarie, molasse calcaree, molasse dolomitiche, quindi ad argille ed argille marnose, spesso siltose, ricche di livelli sabbiosi di potenza variabile, talora anche con lenti conglomeratiche. Si distinguono due litofacies tipiche:

1. Litofacies sabbioso-arenacea-conglomeratica: comprende le sequenze prevalentemente sabbiose, arenacee e conglomeratiche presenti nella formazione. I conglomerati sono costituiti da conglomerati poligenici e ghiaie con elementi a spigoli arrotondati di natura arenacea e quarzarenitica. La sequenza continua con le sabbie e/o arenarie in cui si distinguono sabbie, sabbie limose ed arenarie, di colore da giallastro al tabacco, limi sabbiosi e sabbie limose.

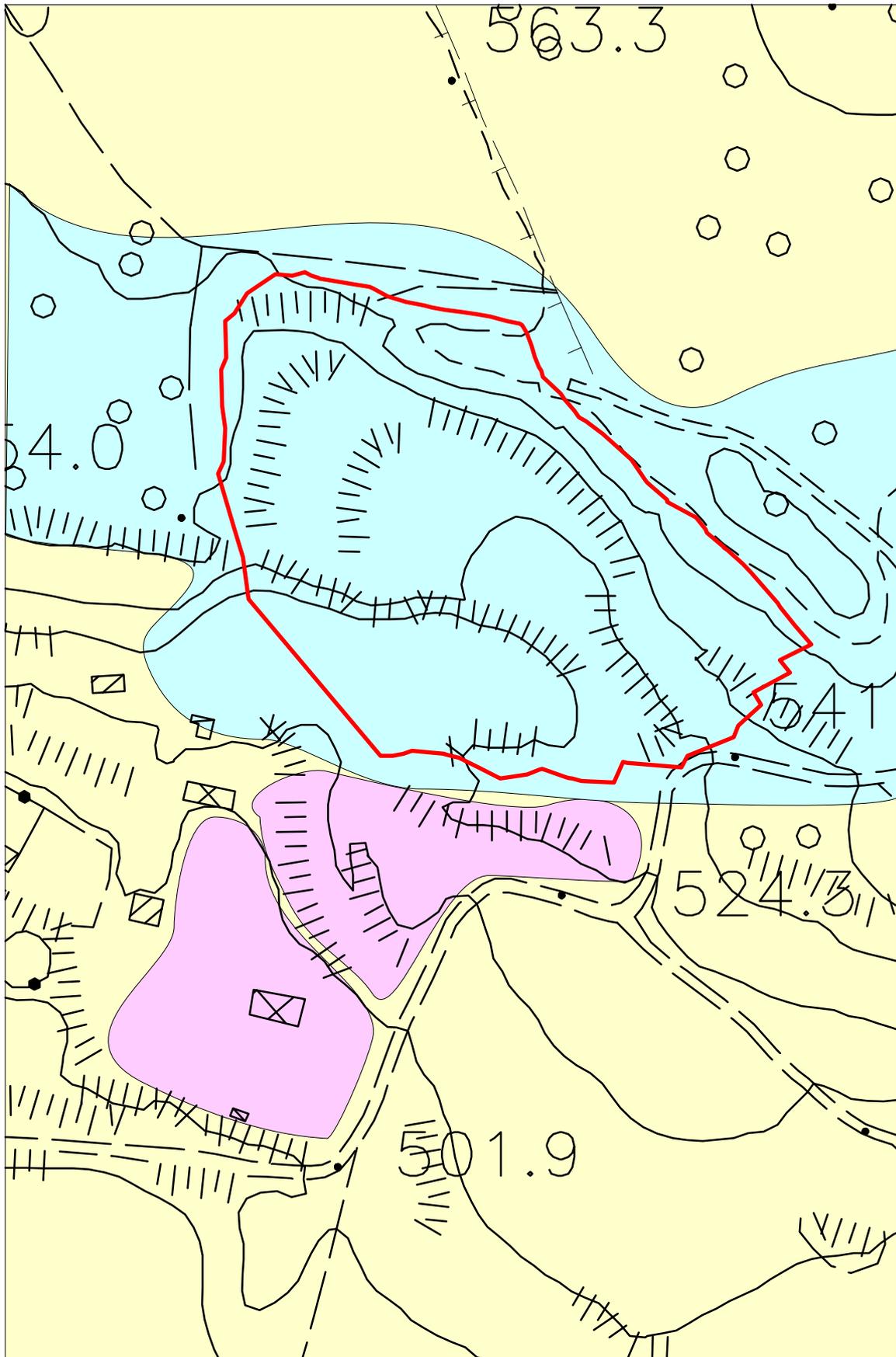
2. *Litofacies argilloso-marnosa*: Si tratta di argille ed argille sabbiose, di colore grigio e tabacco, con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione. Dal punto di vista mineralogico sono costituite da un abbondante scheletro sabbioso in cui prevalgono quarzo, gesso, calcite, tracce di dolomite, feldspati, pirite, ossidi di ferro, mentre la frazione argillosa è costituita da kaolinite, illite e scarsa clorite, cui si aggiungono in minori quantità interlaminazioni illitiche-montmorillonitiche. La tessitura è brecciata e talora a scaglie; la stratificazione è marcata dai sottili livelli sabbiosi intercalati. Le argille spesso si presentano piuttosto tettonizzate con giunti variamente orientati con superfici lucide.

Dai dati in nostro possesso e dalle indagini eseguite per il presente studio si può dire che l'area direttamente interessata dallo studio è caratterizzata dalla presenza di uno spessore variabile tra 3.00 e 5.0 m di materiale di risulta derivante dall'attività di cava, che ricopre i calcari molto fratturati, che nel piano della cava presenta uno spessore pari a circa 1-2 m.

I calcari poggiano sul substrato argilloso della Fm. Terravecchia.

Il materiale di risulta derivante dall'attività di cava presente nell'area a valle ricopre, invece, direttamente il complesso argilloso e sarà riutilizzato per la realizzazione del progetto.

CARTA GEOLOGICA



-  Area in studio
-  Materiale di risulta derivante dall'attività di cava
-  Calcari di base (Messiniano inf.)
-  Argille (Fm. Terravecchia - Tortoniano)

Scala 1/2.000

3. *CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE*

Nell'area vasta le litologie di tipo pseudocoerente sono rappresentate da vari termini argillo-marnosi. Questi affiorano dove sono presenti rilievi dall'andamento dolce, mentre quelle lapidee, ovvero le litologie calcaree danno luogo a rilievi più acclivi e dall'andamento accidentato.

È, quindi, possibile effettuare una prima grande distinzione in tre zone ad assetto morfologico generale differente:

- ✓ una zona nella quale affiorano i termini argilloso-marnosi della Fm. Terravecchia, caratterizzata da rilievi a morfologia dolce con versanti da poco acclivi a sub-pianeggianti. Localmente sono presenti porzioni di versanti caratterizzati da deformazione superficiale lenta;
- ✓ una zona in cui affiorano i termini calcarei della Fm. Gessoso-Solfifera caratterizzata da rilievi acclivi a morfologia piuttosto accidentata, a tratti con rotture di pendenza e pareti sub-verticali.

Questa marcata differenziazione di origine “strutturale” viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta “erosione selettiva”, ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica e da quelle di scorrimento superficiale.

Le litologie lapidee vengono erose in misura più ridotta e tendono quindi a risaltare nei confronti delle circostanti litologie incoerenti.

I processi morfodinamici prevalenti nel sistema morfoclimatico attuale vedono, infatti, come agente dominante l'acqua, sia per quanto riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque

selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operate dalle acque incanalate.

Tale quadro è indicativo, infatti, di una prevalente presenza di materiali fini omogenei ed, in genere, poco permeabili ed impermeabili, tenuto conto che le linee di drenaggio si sviluppano in massima parte su terreni di natura argillosa.

Nello specifico, la cava direttamente interessata dallo studio è caratterizzata da un unico sbancamento con pareti verticali che termina su un piano suborizzontale.

Nell'area direttamente interessata dallo studio non sono presenti segni di dissesti attivi, ciò è confermato dal P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico) redatto dall'A.R.T.A. (Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente) che esclude la nostra area da qualunque tipo di pericolosità e rischio geomorfologico ed idraulico, mentre alcuni fenomeni geodinamici si osservano nei versanti argillosi.

Si ritiene, comunque, di eseguire le opportune verifiche dei pendii anche in considerazione della giacitura, delle caratteristiche geologiche e morfologiche su descritte.

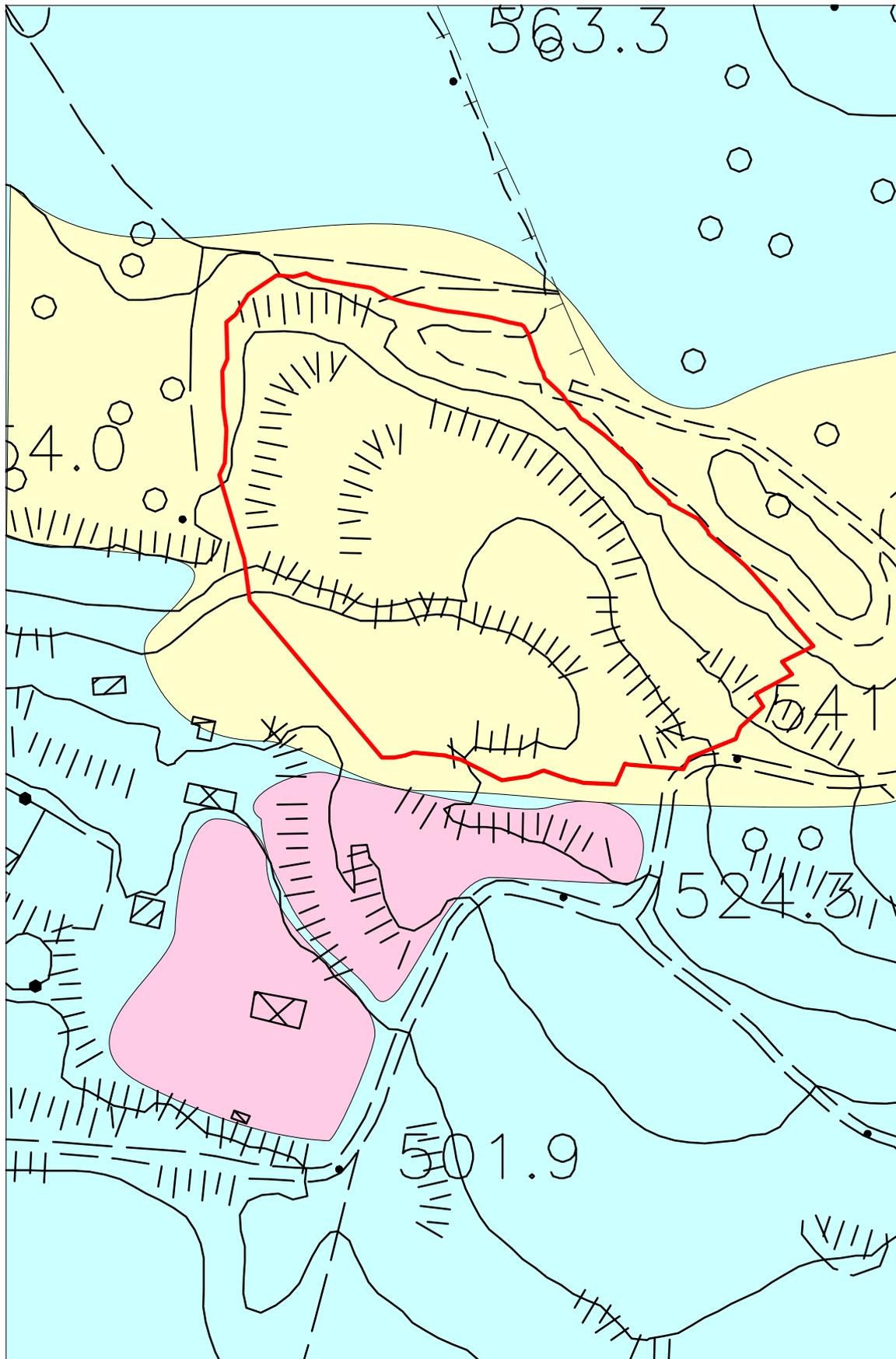
4. CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE

Come si evince dalle considerazioni esposte nei capitoli precedenti, l'area direttamente interessata dallo studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che, da un punto di vista idrogeologico, abbiamo suddiviso in tre complessi idrogeologici differenziati in base al tipo ed al grado di permeabilità:

- **ROCCE PERMEABILI PER POROSITA'**: Rientrano in questa categoria il materiale di risulta derivante dall'attività di cava presente a valle dell'area direttamente interessata dal progetto. Si tratta di rocce incoerenti di natura sabbiosa e ghiaiosa;
- **ROCCE PERMEABILI PER FRATTURAZIONE E CARSIAMO**: Rientrano in questa categoria i calcari di base. Sono caratterizzati da una porosità praticamente nulla legata alla natura stessa del complesso che risulta essere di deposizione chimica ma acquista una permeabilità notevole a causa della fratturazione secondaria piuttosto articolata e dai fenomeni carsici;
- **ROCCE IMPERMEABILI**: Questo complesso è costituito dalla frazione argillosa della Fm. Terravecchia. In queste rocce l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili.

Vista la natura dei terreni costituenti il substrato, gli spessori estremamente limitati dei calcari ed i rilievi eseguiti si può affermare che non è presente alcuna falda freatica.

CARTA GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA



-  Area in studio
-  Rocce permeabili per porosità - Stabili
-  Rocce permeabili per fratturazione e carsismo - Stabili
-  Rocce impermeabili - Stabili

Scala 1/2.000

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(ART.1 D.L. 180/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.267/99 e ss. mm. ll.)

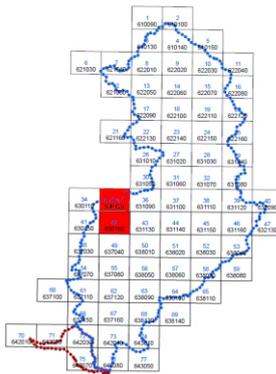
Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale (072)
Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il
Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale (071)



CARTA DEI DISSESTI N° 35 E N° 42

COMUNI DI:
CALTANISSETTA - SERRADIFALCO

Scala 1:10.000



LEGENDA

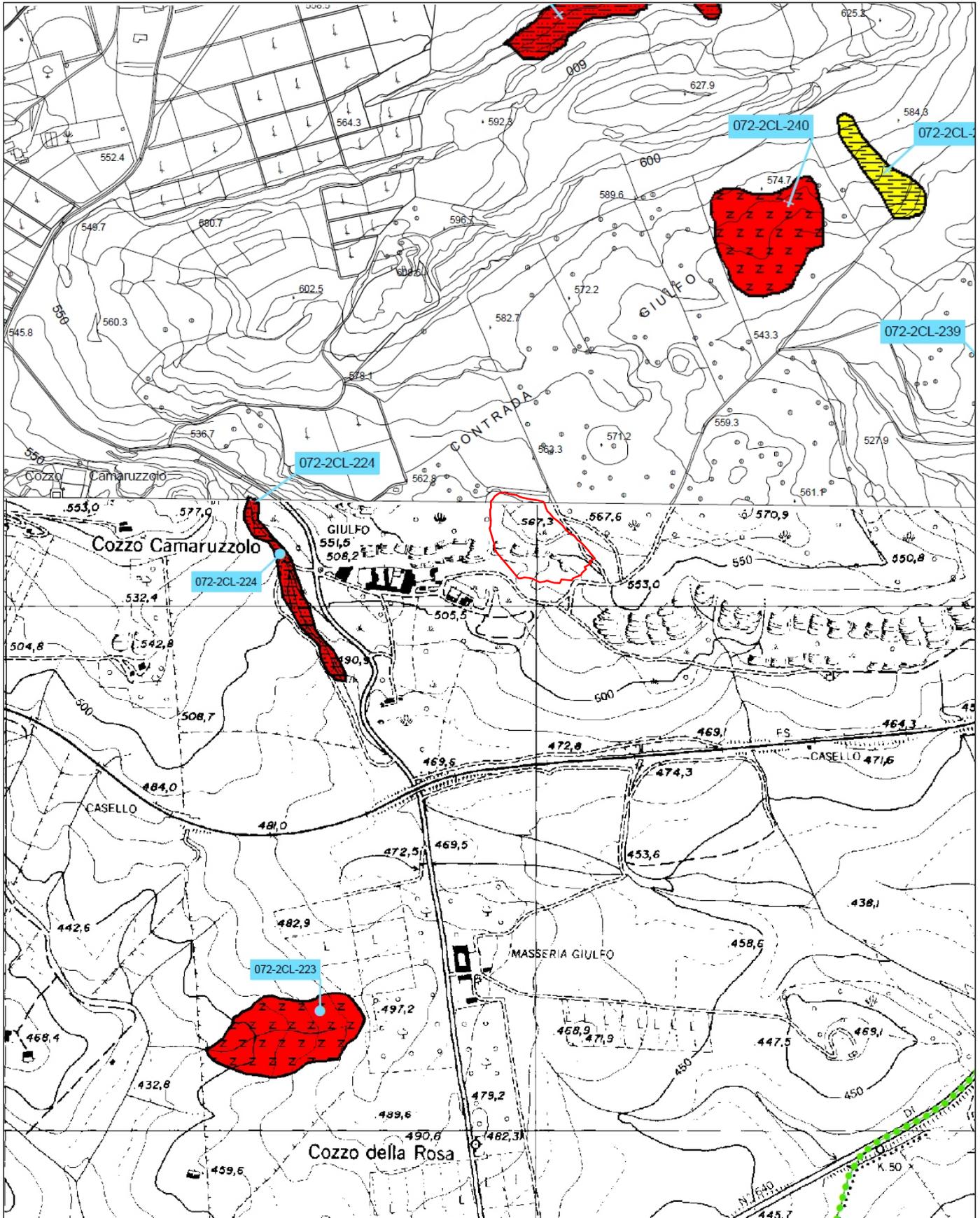
FENOMENI FRANOSI

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti dovuti ad erosione accelerata
- Sito d'attenzione

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

- Limite bacino idrografico
- Limite dell'area intermedia
- Limite comunale



 Area in studio

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente

DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

(ART.1 D.L. 180/98 CONVERTITO CON MODIFICHE CON LA L.267/98 e ss. mm. II.)

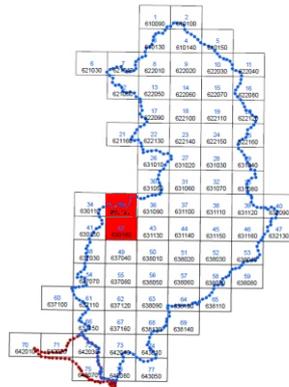
Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale (072)
Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il
Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale (071)



CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 42

COMUNI DI :
CALTANISSETTA - SERRADIFALCO

Scala 1:10.000



LEGENDA

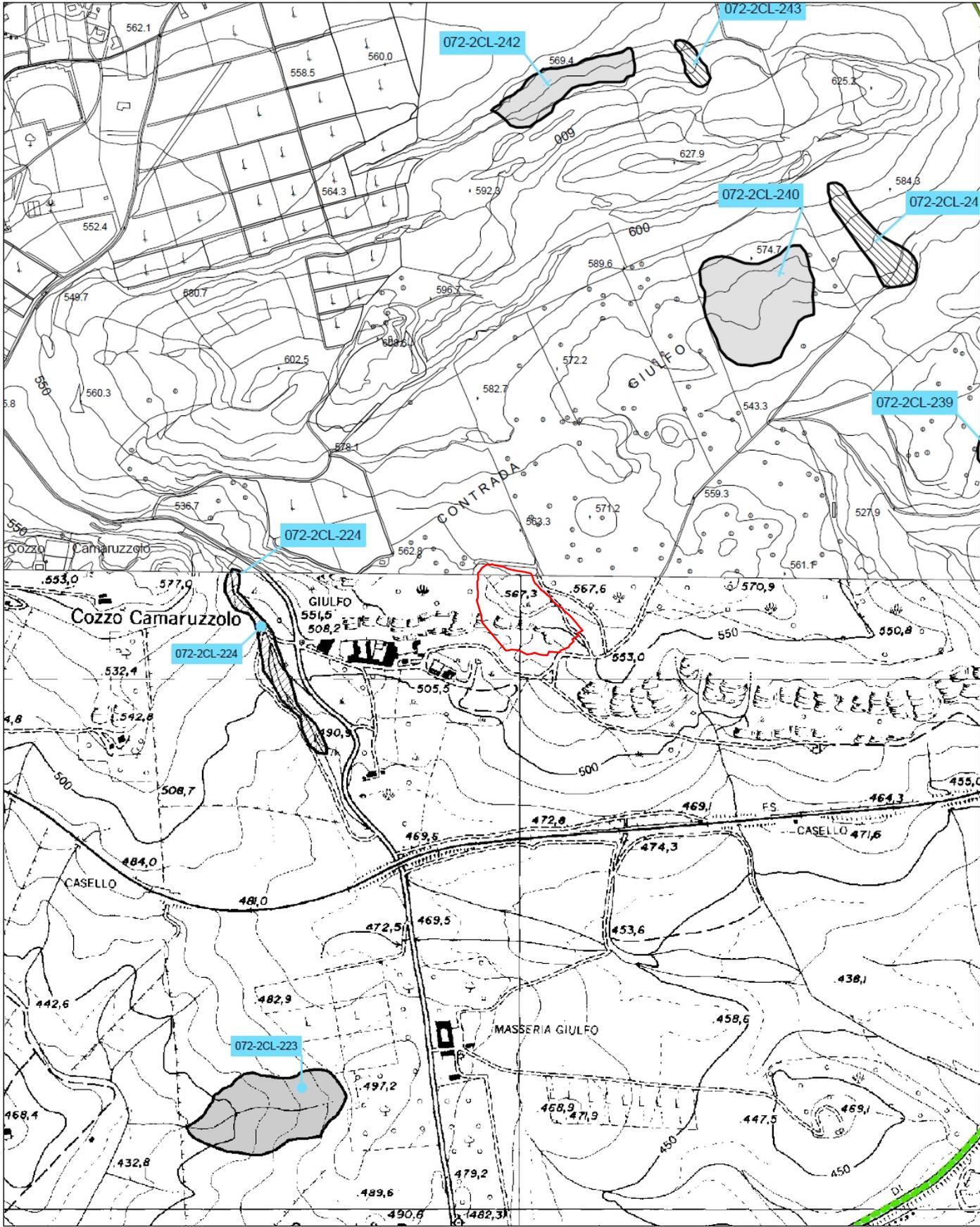
LIVELLI DI PERICOLOSITA'

-  P0 basso
-  P1 moderato
-  P2 medio
-  P3 elevato
-  P4 molto elevato
-  Sito d'attenzione

LIVELLI DI RISCHIO

-  R1 moderato
-  R2 medio
-  R3 elevato
-  R4 molto elevato

-  Limite bacino idrografico
-  Limite dell'area intermedia
-  Limite comunale



 Area in studio

5. INDAGINI ESEGUITE

Per la redazione del presente studio è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche di seguito illustrate.

5.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (tomografia)

Si è ritenuto necessario l'utilizzo della tecnica di sismica passiva a stazione singola HVSR (tomografia) allo scopo di determinare le velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni presenti nei primi 30 mt. dal p.c. in corrispondenza delle aree da rimodellare.

In particolare sono state eseguite n. 2 misure di microtremore ambientale, a partire dal piano di campagna, con un tomografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

La sismica passiva è una tecnica che permette di definire la serie stratigrafica locale basandosi sul concetto di contrasto di impedenza dove per strato si intende un'unità distinta in relazione al rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Successivamente Nakamura (1989) ha applicato tale metodo come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando lo schema illustrato nella Figura 1 si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità (ρ_1 e ρ_2) e le velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

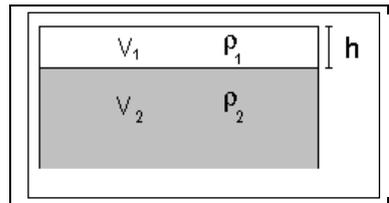


Figura 1. Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

In questo caso un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dalla superficie di strato.

L'onda riflessa interferendo con quelle incidenti si somma e raggiunge le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

Ne consegue che la frequenza di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 H). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo dato, insieme alla stima delle velocità, è in grado di fornire utili previsioni sullo spessore H degli strati.

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali

e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;
- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Da evidenziare, inoltre, che i microtremori sono costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tale inconveniente è facilmente superabile sia perché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva, sia perché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

D'altro canto l'applicabilità pratica della formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sperimentali, consiste in un tromografo digitale denominato "Tromino", dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:

- ✓ larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
 - ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,
 - ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore ad 2;
 - ✓ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l'analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondità H delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

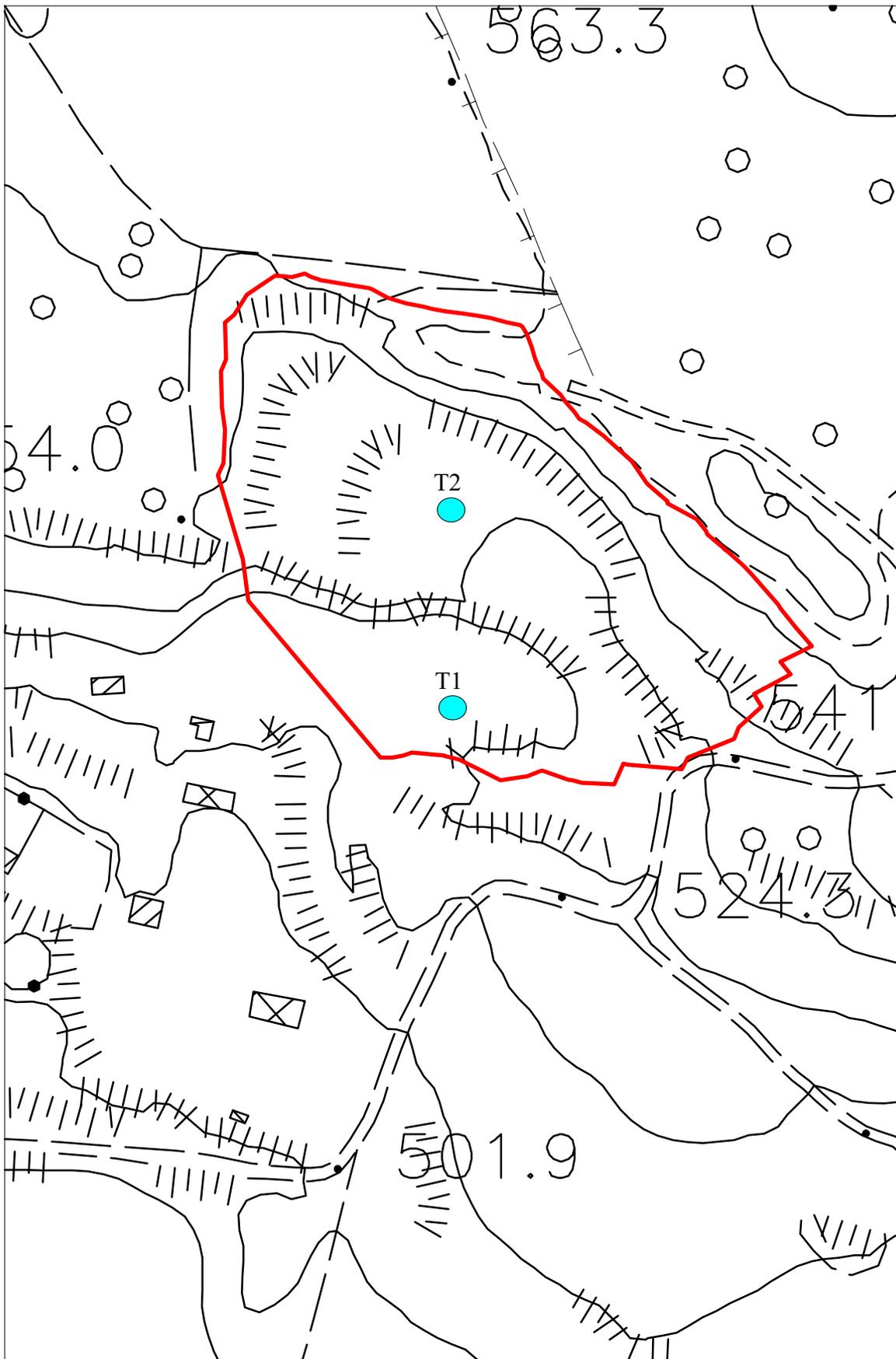
- ⇒ V_0 è la velocità al tetto dello strato;
- ⇒ a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ⇒ ν la frequenza fondamentale di risonanza.

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\nu} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

L'ubicazione dei sondaggi eseguiti è visibile nella planimetria allegata.

Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

PLANIMETRIA CON L'UBICAZIONE DELLE INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA



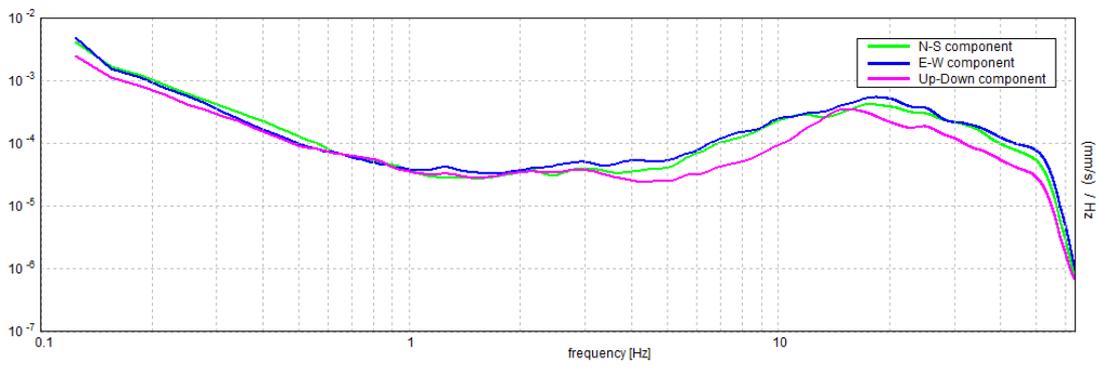
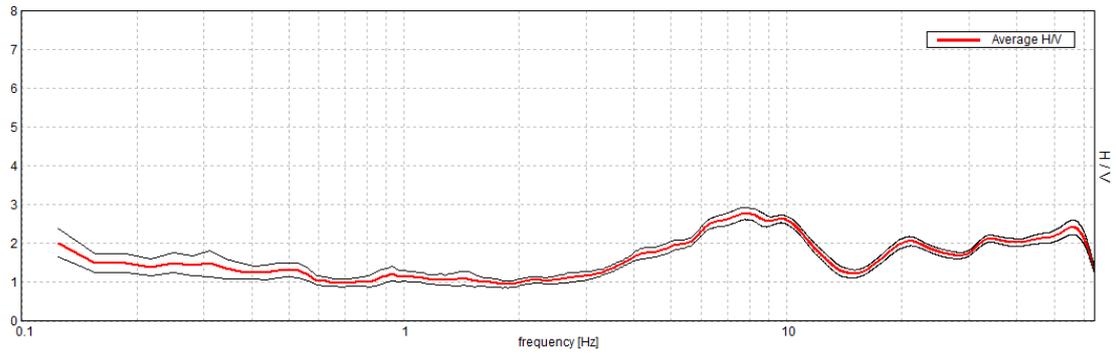
 Area in studio

Scala 1/2.000

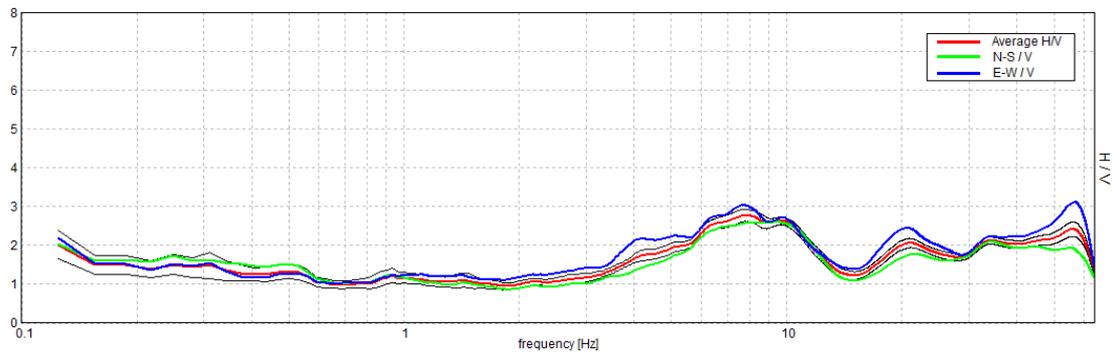
T1  Indagine di sismica passiva a stazione singola

Sondaggio T1

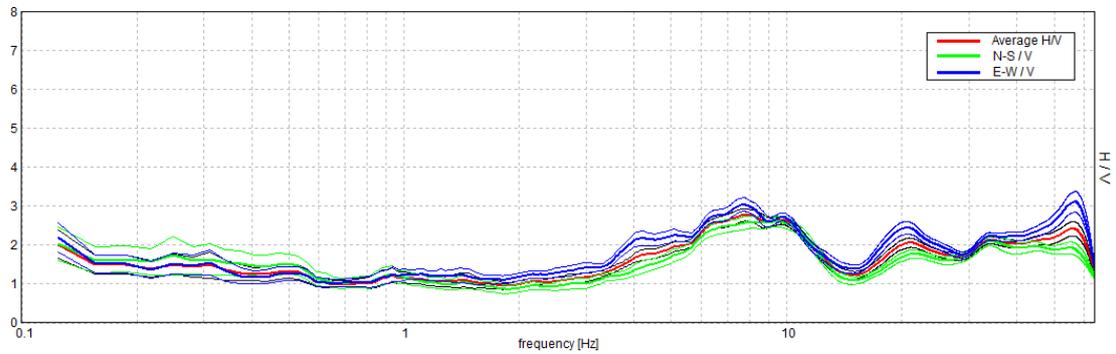
Max. H/V at 7.78 ± 6.85 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 7.78 ± 6.85 Hz. Max. (N-S)/V: 9.38 ± 1.63 Hz. Max. (E-W)/V: 56.88 ± 39.3 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

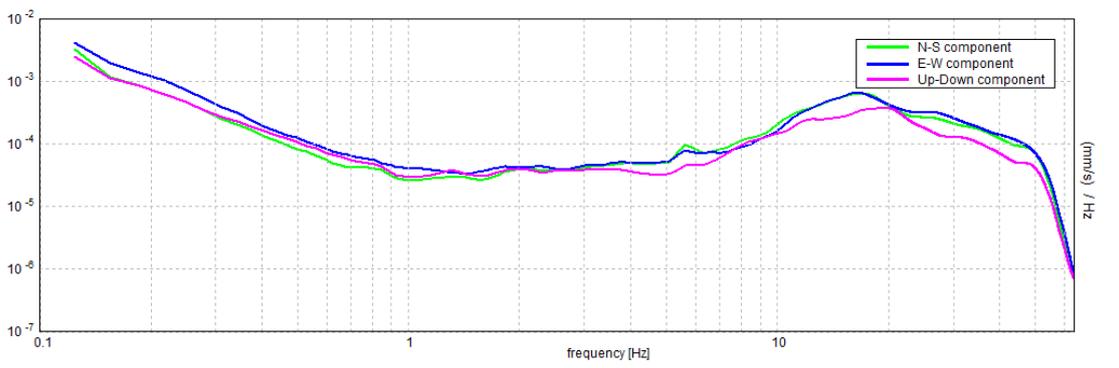
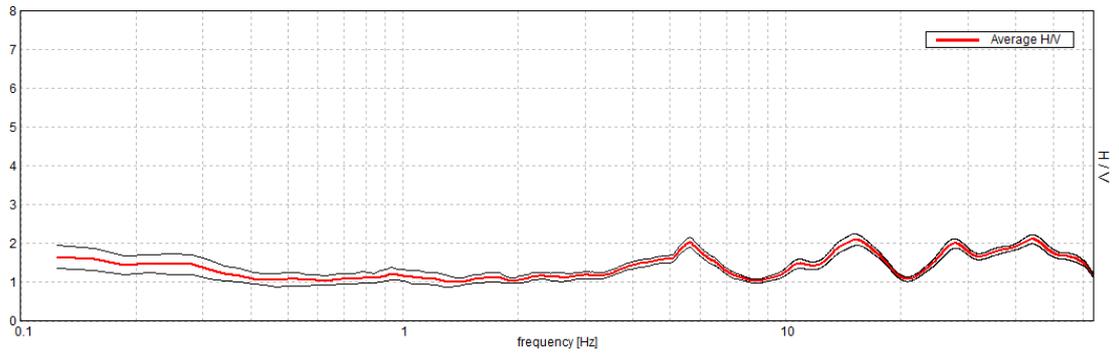


Max. H/V at 7.78 ± 6.85 Hz. Max. (N-S)/V: 9.38 ± 1.63 Hz. Max. (E-W)/V: 56.88 ± 39.3 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

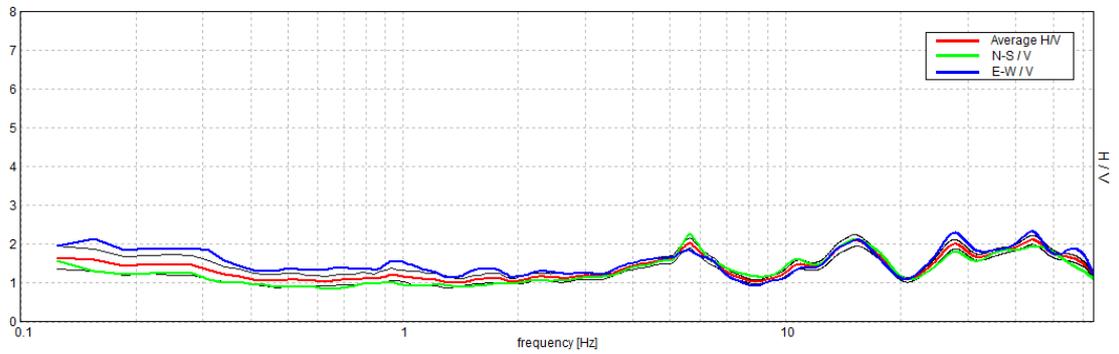


Sondaggio T2

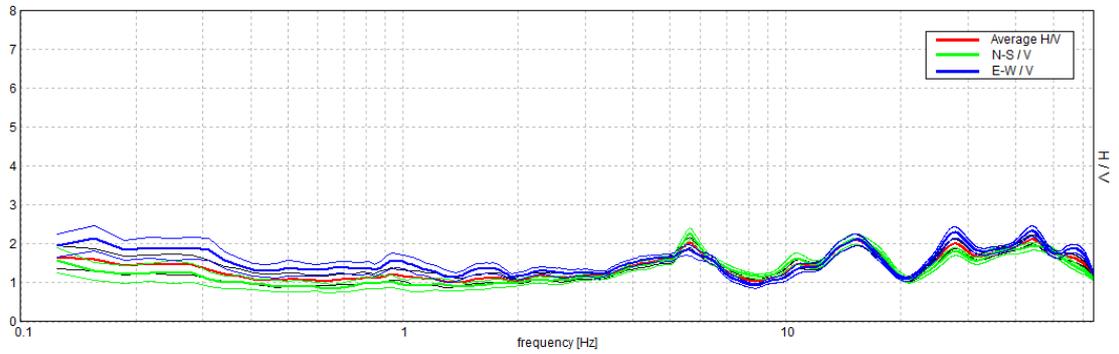
Max. H/V at 44.06 ± 27.73 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 44.06 ± 27.73 Hz. Max.(N-S)/V: 5.63 ± 7.05 Hz. Max.(E-W)/V: 44.06 ± 13.67 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Max. H/V at 44.06 ± 27.73 Hz. Max.(N-S)/V: 5.63 ± 7.05 Hz. Max.(E-W)/V: 44.06 ± 13.67 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Documentazione fotografica

Sondaggio T1



Sondaggio T2



I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio

V_s .

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione:

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove T_H è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e f_r è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità h dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante:

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

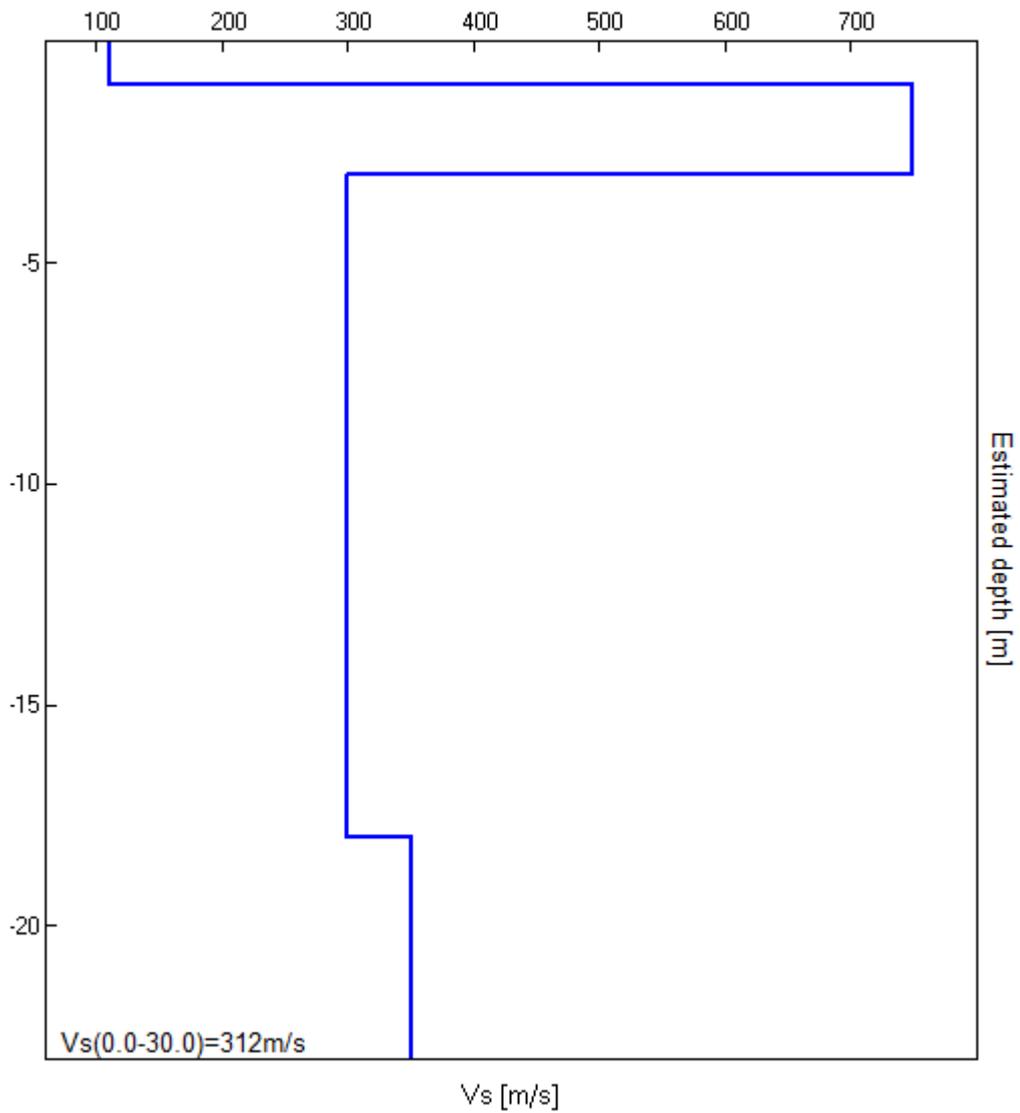
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

In allegato sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

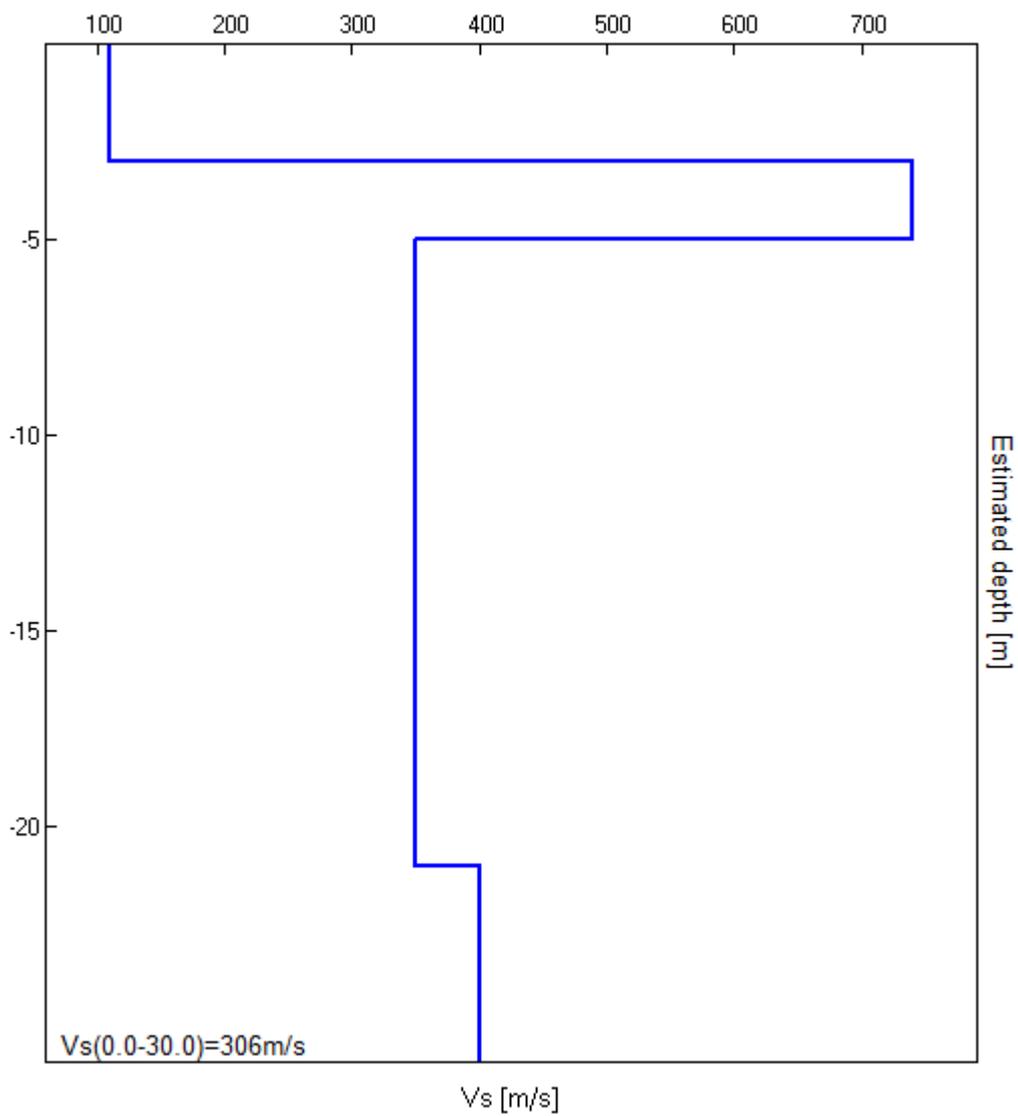
Sondaggio T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00-1.00	110	D	C (Vs30=312 m/s)
1.00-3.00	750	B	
3.00-18.00	300	C	
18.00-30.00	350	C	



Sondaggio T2

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00-3.00	110	D	C (Vs30=306 m/s)
3.00-5.00	740	B	
5.00-21.00	350	C	
21.00-30.00	400	B	



6. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 4. Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica” e confermata dalla Regione Sicilia (DGR 408 del 19/12/2003), come visibile nella carta allegata tratta dal sito del D.P.C. (Dipartimento della Protezione Civile).

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell'Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del “problema sismico”.

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni

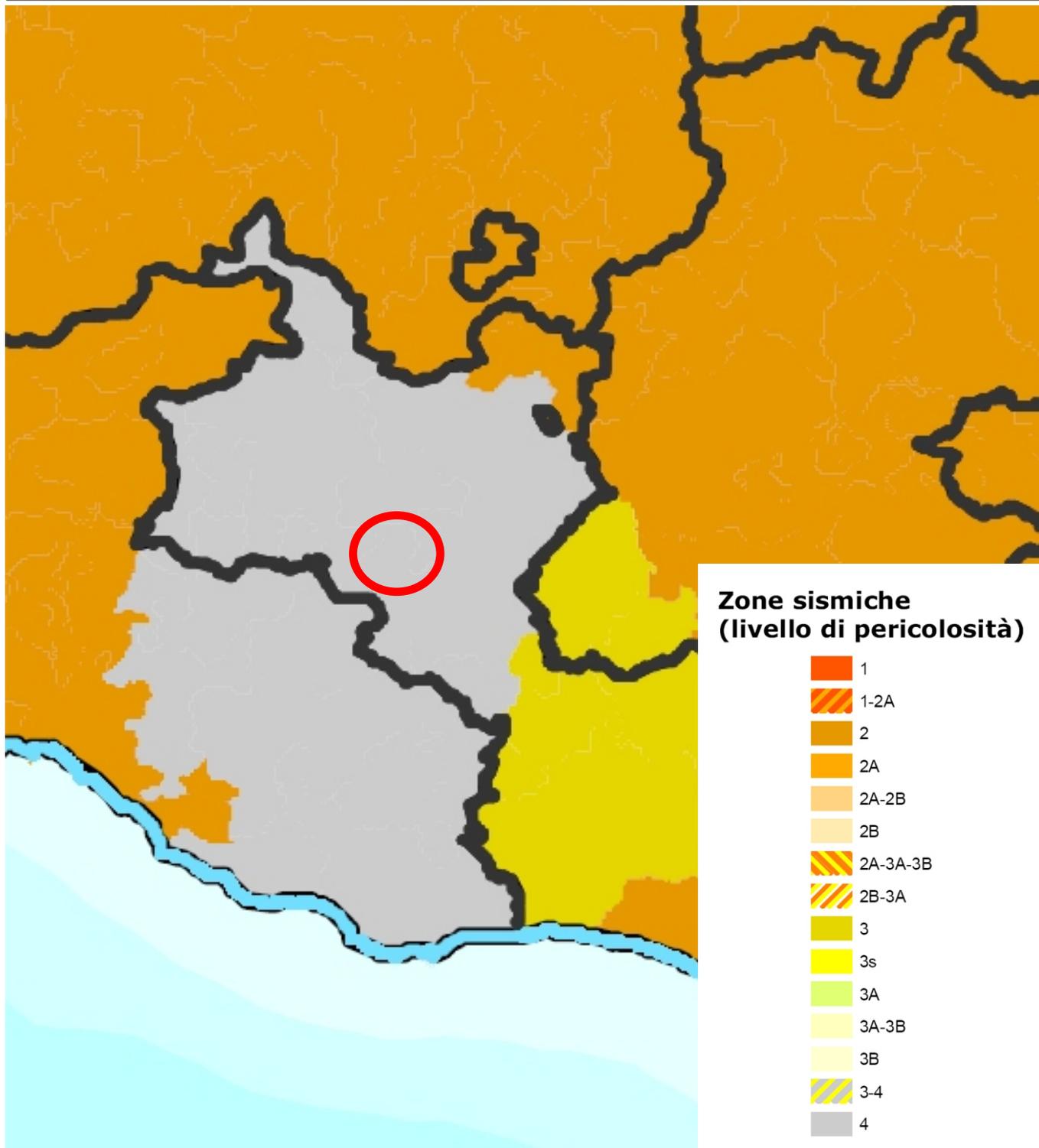


Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della protezione civile
Ufficio rischio sismico e vulcanico

Classificazione sismica al 2015

Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.

Atti di recepimento al 1° giugno 2014. Abruzzo: DGR 29/3/03, n. 438. Basilicata: DCR 19/11/03, n. 731. Calabria: DGR 10/2/04, n. 47. Campania: DGR 7/11/02, n. 5447. Emilia Romagna: DGR 21/7/03, n. 1435. Friuli Venezia Giulia: DGR 6/5/10, n. 845. Lazio: DGR 22/5/09, n. 387. Liguria: DGR 19/11/10, n. 1362. Lombardia: DGR 11/7/14, n. X/2129. Marche: DGR 29/7/03, n. 1046. Molise: DGR 2/8/06, n. 1171. Piemonte: DGR 12/12/11, n. 4-3084. Puglia: DGR 2/3/04, n. 153. Sardegna: DGR 30/3/04, n. 15/31. Sicilia: DGR 19/12/03, n. 408. Toscana: DGR 26/5/14, n. 878. Trentino Alto Adige: Bolzano, DGP 6/11/06, n. 4047; Trento, DGP 27/12/12, n. 2919. Umbria: DGR 18/9/12, n. 1111. Veneto: DCR 3/12/03, n. 67. Valle d'Aosta: DGR 4/10/13 n. 1603



 Area in studio

sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bed-rock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del DM 17/01/2018 i terreni interessati dalle opere in progetto appartengono alla **Categoria C** - *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti*

con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

7. LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Il problema della liquefazione dei terreni è di estrema importanza in aree a rischio sismico, come quella in cui si deve realizzare il progetto.

Si tratta di un fenomeno estremamente importante e pericoloso in particolari condizioni.

Il termine *liquefazione* viene usato, per definire un processo per cui una massa di terreno saturo, a seguito dell'intervento di forze esterne, statiche o dinamiche perde resistenza al taglio e si comporta come un fluido.

Ricordando la relazione di un terreno incoerente saturo:

$$\tau_f = (\sigma_f - u) \operatorname{tg} \varphi$$

se per effetto delle azioni esterne la pressione applicata si trasferisce integralmente alla fase liquida, ossia $\sigma = u$, viene $\tau_f = 0$ e quindi resistenza tangenziale nulla.

Sono soprattutto le azioni dinamiche a disturbare l'equilibrio dello scheletro solido orientando le particelle di roccia, immerse in acqua, verso una maggiore compattezza.

Le particelle di terreno sotto la vibrazione, si dispongono infatti facilmente in un nuovo assetto ed in questa fase di transizione perdono il contatto fra di loro e, quindi, sono «flottanti» temporaneamente nell'acqua perdendo ogni funzione portante.

La presenza dell'acqua pone le sabbie, sottoposte a rapide alternanze di carico, in situazione analoga a quella delle argille sature sottoposte rapidamente a carichi statici; infatti la velocità con la quale si producono le variazioni di volume è talmente elevata che, nonostante la forte permeabilità dello scheletro granulare della sabbia, l'acqua non riesce a

sfuggire mentre avviene la riduzione di volume del tessuto e, quindi, le pressioni interstiziali annullano la resistenza di attrito.

Di qui la liquefazione del terreno e lo sprofondamento delle opere.

La predisposizione alla liquefazione dipende, quindi, dalla capacità del terreno ad aumentare la propria densità, il che è legato evidentemente alla percentuale di vuoti iniziale.

Il fenomeno della liquefazione si verifica per stratificazioni superficiali, a profondità di 15 m può dirsi che esso sia escluso a causa della compattezza prodotta dalla pressione geostatica.

Notevoli assestamenti possono verificarsi con terreni anche asciutti sottoposti a vibrazioni ma senza la presenza della falda non è possibile l'istaurarsi del fenomeno della liquefazione.

I metodi con cui si calcola la tendenza alla liquefazione sono divisi in due categorie: a) Metodi semplificati; b) Metodi empirici ed il nostro studio utilizza quelli definiti dal programma Liquiter della Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ ed indagini geofisiche per il calcolo delle V_{s30} .

La resistenza del deposito alla liquefazione viene, quindi, valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione.

Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove di misurazione delle onde di taglio Vs.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione adottati dal programma sono:

- 1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
- 2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
- 3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
- 4) *Metodo di Finn (1985);*
- 5) *Metodo di Cortè (1985);*
- 6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
- 7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
- 8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
- 9) *Metodo basato sull'NTC 2008.*

In base all'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- ✓ contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- ✓ contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;
- ✓ frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su*

correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1- S (M > 5,5)	Spettri di Tipo 2 - S (M < 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT, la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

(a)

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,00000371 4 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una

pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0.5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

Attrezzatura	C _E
Safety Hammer	0,7 – 1,2
Donut Hammer (USA)	0,5 – 1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1 – 1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8 – 1,4

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine (FC):

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)] \quad \text{per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \quad \text{per } FC > 35\%$$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente formula

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di particelle fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride.

Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

come proposto dall'EC8, derivato $(N_{1,60})_{cs}$, si utilizza la (a) per il calcolo di CRR.

Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la formula:

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{s1})_{cs} - V_{s1}} - \frac{1}{(V_{s1})_{cs}} \right]$$

Rispetto alla normativa europea, la normativa italiana (NTC 2008) è meno accurata e non fornisce proposte di metodologie per valutare il potenziale di liquefazione.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati.

La probabilità di liquefazione P_L , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_s}{0,72}\right)^{3,1}}$$

Nello specifico del nostro lavoro e dai dati in nostro possesso, si evince che in corrispondenza dell'area in studio sono presenti i calcari molto fratturati poggianti sul substrato argilloso della Fm. Terravecchia.

Non è presente una falda freatica nei primi 15 mt. di profondità.

Sono, quindi, soddisfatte le condizioni di cui alla normativa vigente e può essere esclusa la possibilità che avvengano fenomeni di liquefazione dei terreni.

8. CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO

Da quanto desumibile dalle indagini geofisiche e dai dati in nostro possesso, i terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area direttamente interessata dal progetto sono riferibili alle seguenti formazioni geologiche descritte dal più recente al più antico: **a) Calcari di base; b) Argille (Fm. Terravecchia).**

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche così come desumibili dai dati ricavati dalle pubblicazioni scientifiche e dall'esperienza maturata su questi terreni.

a) CALCARI DI BASE: Sono terreni coerenti a consistenza lapidea con ottime caratteristiche fisico-meccaniche. Per la caratterizzazione fisico meccanica di questi terreni, considerato che non è possibile eseguire su questo litotipo alcuna sperimentazione di laboratorio, può farsi riferimento, a tutto vantaggio della sicurezza, ai seguenti parametri desunti dall'esperienza maturata su questi terreni e dalle sperimentazioni scientifiche:

$$\varphi' = 45 \text{ gradi}; c' = 5 \text{ t/mq}; \gamma = 2.5 \text{ t/mc}$$

b) ARGILLE (Fm. Terravecchia): argille ed argille sabbiose, da scarsamente a mediamente consistenti e plastiche. Per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche, a vantaggio della sicurezza, si possono assumere i seguenti parametri:

a) Argilla alterata: $\varphi' = 16^\circ$, $c' = 2 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1,8 \text{ t/mc}$; $Cu=5 \text{ t/mq}$;

b) Argilla inalterata: $\varphi' = 19^\circ$, $c' = 3 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.9 \text{ t/mc}$; $Cu=10 \text{ t/mq}$.

Si mette in evidenza che l'area sarà oggetto di un rimodellamento morfologico che consisterà nell'apporto del materiale proveniente dagli scavi prodotti durante la realizzazione delle opere.

Di seguito si riportano le caratteristiche fisico-meccaniche che, a vantaggio della sicurezza, questi materiali debbono avere e che sono desunti dalla back analysis eseguita ed i cui risultati sono visibili nell'elaborato "Verifica stabilità dei versanti ante e post operam".

c) TERRENO PER IL RIMODELLAMENTO MORFOLOGICO:

Si tratta di terreni di varia natura prevalentemente limosi-argillosi appartenenti ai gruppi A4-A7, che verranno compattati ogni 50 cm mediante pala meccanica e rullo compattatore.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche, a vantaggio della sicurezza, si possono assumere i seguenti parametri:

$$\varphi' = 21^\circ, c' = 0,2 \text{ t/mq}, \gamma = 1,8 \text{ t/mc}.$$

9. CONCLUSIONI

Da quanto esposto nei capitoli precedenti in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche si evince che:

- ✓ l'area direttamente interessata dallo studio è caratterizzata dalla presenza di uno spessore variabile tra 3.00 e 5.0 m di terreno di materiale di risulta derivante dall'attività di cava che ricopre i calcari molto fratturati e che nel piano della cava presenta uno spessore pari a circa 1-2 m. Detti terreni poggiano a valle sul substrato argilloso della Fm. Terravecchia;
- ✓ il materiale di risulta verrà asportato e riutilizzato per le necessarie opere di sostegno e contenimento;
- ✓ nell'area non sono presenti segni di dissesto attivi, ciò è confermato dal P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico) redatto dall'A.R.T.A. (Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente) che esclude la nostra area da qualunque tipo di pericolosità e rischio geomorfologico ed idraulico ma esistono movimenti gravitativi nei versanti argillosi;
- ✓ nello specifico, la cava direttamente interessata dallo studio è caratterizzata da un unico sbancamento con pareti verticali che termina su un piano suborizzontale;
- ✓ vista la natura dei terreni si può affermare che questi non sono interessati da una falda freatica per profondità superiori a 15 m;
- ✓ ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti appartengono alla **Categoria C** - *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati*

da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s”;

- ✓ i terreni non danno luogo a fenomeni di liquefazione in caso di sisma;
- ✓ per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi che costituiscono l'area, a vantaggio della sicurezza, si possono assumere i seguenti parametri:

- **CALCARI DI BASE:** $\varphi' = 45^\circ$, $c' = 5 \text{ t/mq}$, $\gamma = 2.5 \text{ t/mc}$.

- **ARGILLE (Fm. Terravecchia):**

- a) Argilla alterata: $\varphi' = 16^\circ$, $c' = 2 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1,8 \text{ t/mc}$; $C_u = 5 \text{ t/mq}$;

- b) Argilla inalterata: $\varphi' = 19^\circ$, $c' = 3 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1.9 \text{ t/mc}$; $C_u = 10 \text{ t/mq}$.

- ✓ l'area sarà oggetto di un rimodellamento morfologico che consisterà nell'apporto del materiale proveniente dagli scavi prodotti durante la realizzazione delle opere. Di seguito si riportano le caratteristiche fisico-meccaniche che, a vantaggio della sicurezza, i suddetti terreni debbono avere:

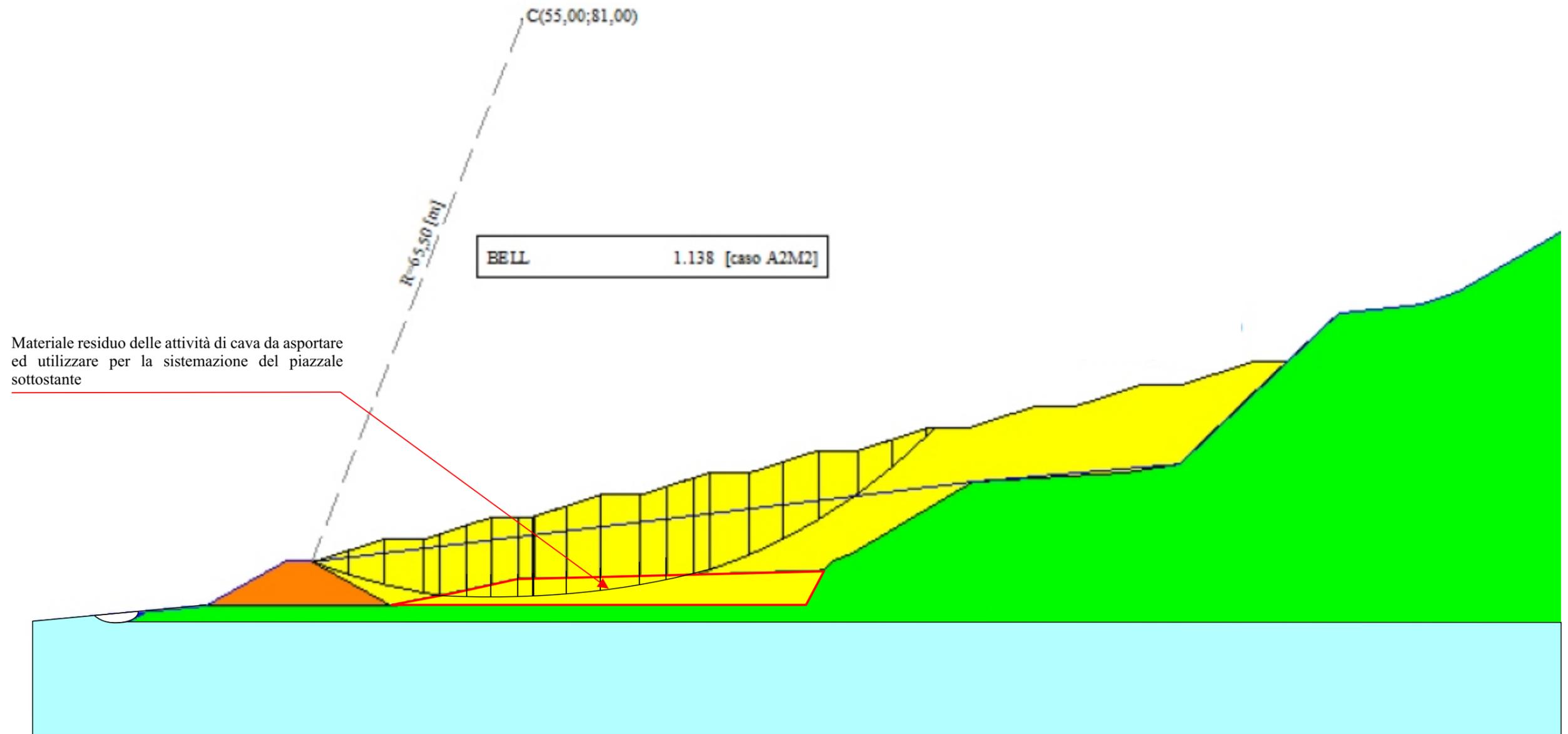
$\varphi' = 21^\circ$, $c' = 0.2 \text{ t/mq}$, $\gamma = 1,8 \text{ t/mc}$.

- ✓ si prescrive che vengano eseguite prove di costipamento, densimetriche e prove di carico su piastra ogni metro di spessore del rilevato al fine di verificare il raggiungimento delle caratteristiche fisico-meccaniche del terreno riportato così come desunte dalle verifiche di stabilità.

Dott. Geol. Guaiaro Bellomo



SEZIONE GEOLOGICA 11



- Rilevato artificiale
- Argine in misto granulometrico
- Calcari di base
- Argille

Scala 1/500