

Dott. Geol. Alessandro Piccinelli  
STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA  
via A. Labriola n. 18 - 58100 GROSSETO



**COMUNE DI SCANSANO  
(Provincia di Grosseto)**

Oggetto:

**Relazione geologica per la caratterizzazione del  
dissesto franoso localizzato nella frazione di  
Baccinello (strada comunale cimitero).**

**Definizione degli orientamenti progettuali inerenti  
la tipologia degli interventi di consolidamento,  
mitigazione e messa in sicurezza.**

**Data: Settembre 2014**

**Committente: Comune di Scansano**

**Consulente Geologo: Dott. Geol. Alessandro Piccinelli**



**INDICE***Pag*

<b>1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>2</b>
<b>2. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>3. UBICAZIONE</b>	<b>3</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>3</b>
<b>5. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO</b>	<b>7</b>
<b>6. INDAGINE GEOFISICA</b>	<b>10</b>
<b>7. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE</b>	<b>14</b>
<b>8. VERIFICHE DI STABILITA'</b>	<b>15</b>
<b>9. ADEGUAMENTO SISMICO</b>	<b>21</b>
<b>9.1 CALCOLO DEI COEFFICIENTI SISMICI</b>	<b>23</b>
<b>10. CONCLUSIONI</b>	<b>25</b>

~ ~

**ALLEGATI**

<b>n. 1 CARTA GEOLOGICA (scala 1 : 10 000)</b>	<b>29</b>
<b>n. 2 CARTE DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO</b>	<b>30</b>
<b>n. 3 PROFILO SISMICO n. 1</b>	<b>31</b>
<b>n. 4 PROFILO SISMICO n. 2</b>	<b>32</b>
<b>n. 5 PROFILO SISMICO n. 3</b>	<b>33</b>
<b>n. 6 PROFILO SISMICO n. 4</b>	<b>34</b>
<b>n. 7 PIANO QUOTATO (scala 1 : 300)</b>	<b>35</b>

## **1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

### **Decreto Ministeriale 14.01.2008**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

### **Eurocodice 8 (1998)**

#### **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

### **Decreto Ministeriale 11.03.1988**

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**D.C.R. n. 12/2000** (modifica dell'ex **D.C.R. n. 230/94** "Norme sulla riduzione del rischio idraulico".

**D.G.R. n. 1212/99** con opportune integrazioni ai sensi del **P.A.I.** (Piano Assetto Idrogeologico)

**D.P.G.R. n. 48/R/2003** "Regolamento forestale della Toscana"

## **2. PREMESSA**

La presente relazione geologica, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Scansano, si riferisce all'indagine svolta per la caratterizzazione del dissesto franoso localizzato nelle immediate vicinanze della frazione di Baccinello (strada comunale cimitero).

Attraverso l'esecuzione di prospezioni geofisiche è stata definita la geometria e le dimensioni del dissesto per definire, in ultima analisi, gli orientamenti progettuali inerenti la tipologia degli interventi di consolidamento, mitigazione e messa in sicurezza.

In modo particolare verranno presi in considerazione gli interventi più adeguati per il consolidamento ed il successivo ripristino della strada comunale del cimitero attualmente lesionata dal dissesto franoso.

Altri interventi sono invece previsti lungo l'alveo del torrente Trasubbie e del fosso del Becco; tali interventi di protezione spondale avranno la finalità di mitigare e/o rallentare il movimento gravitativo in atto.

Questo lavoro si è articolato nella caratterizzazione dei seguenti elementi:

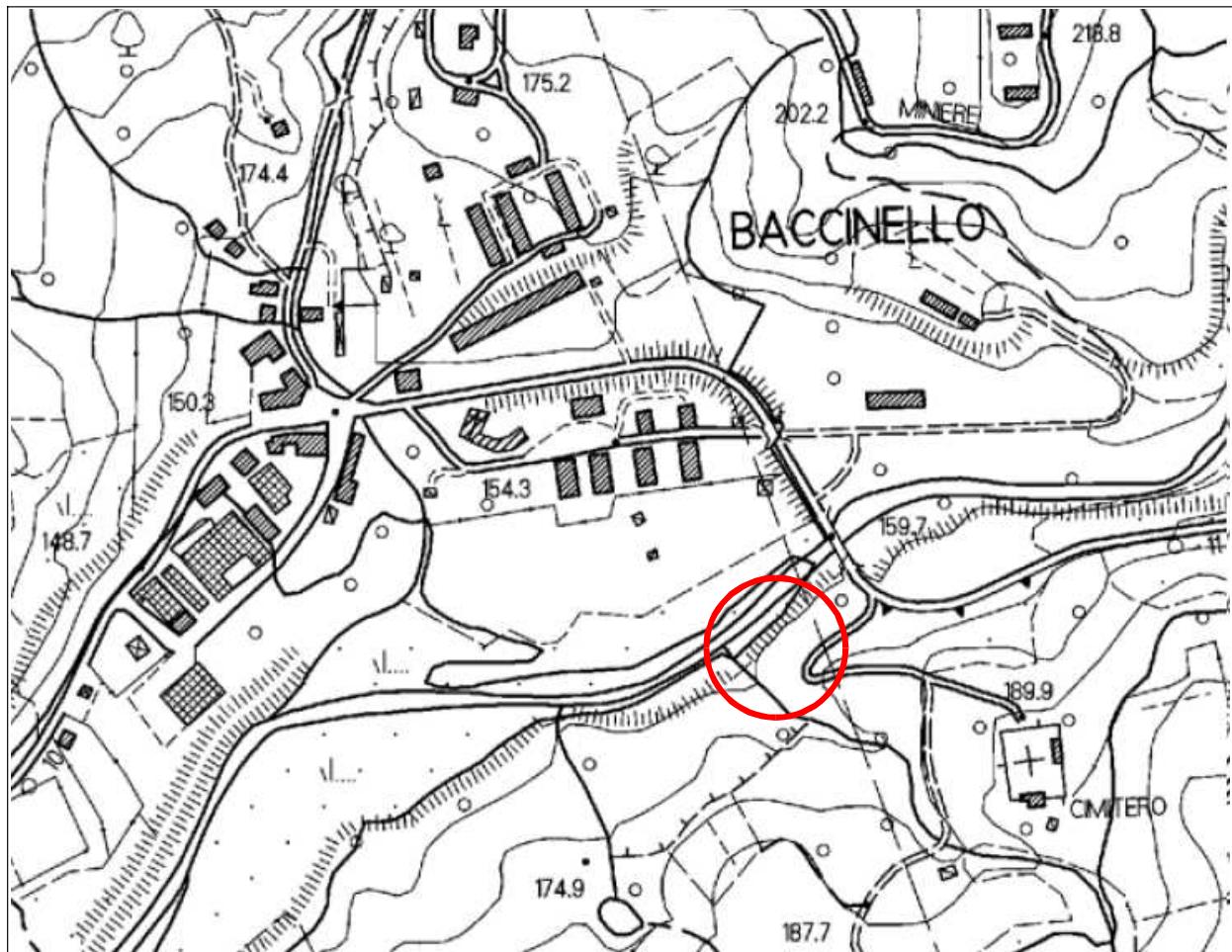
- caratteri geologici e morfologici di superficie
- esecuzione di prospezioni geofisiche in situ da correlare con il rilievo topografico di dettaglio dell'area interessata dal dissesto
- elaborazione dei dati scaturiti dalle indagini geofisiche per la determinazione della geometria e delle dimensioni del dissesto franoso
- definizione degli spessori della copertura detritica, dell'andamento del tetto del substrato roccioso ed individuazione della zona di scollamento della copertura detritica
- caratterizzazione sismica e stratigrafica dei corpi litologici presenti e modello geologico del sottosuolo
- definizione degli orientamenti progettuali inerenti la tipologia degli interventi di consolidamento, mitigazione e messa in sicurezza
- conclusioni.

### 3. UBICAZIONE

L'area è individuabile nel Foglio n. 332 - Sezione IV "Cana" della Nuova Carta Topografica d'Italia dell'I.G.M in scala 1:25.000.

L'ubicazione dell'area (Fig. 1) è riportata in uno stralcio della Carta Tecnica Regionale 10K, in scala 1 : 5.000, tratto da SITA - Cartoteca (fonte Web Regione Toscana).

Nell'Allegato n. 1 è riportato uno stralcio della Sezione 332010, in scala 1:10.000, della Carta Geologica Regionale (CARG - Regione Toscana - fonte Web SITA Cartoteca).



**Fig. 1 - Ubicazione dell'area**

Stralcio Carta Tecnica Regionale 10K (scala 1 : 5.000) - fonte Web Regione Toscana - SITA Cartoteca

### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è caratterizzata da una sequenza di terreni, di origine ed età assai diverse, che mostrano una linea evolutiva genetica dei complessi rocciosi riconducibili ai processi geodinamici che hanno interessato gran parte dell'Appennino Settentrionale.

La sequenza delle formazioni affioranti mostra la presenza di terreni di età che vanno dal Paleozoico al Quaternario, ma con una successione spesso irregolare e disomogenea; questa caratteristica è riconducibile alla presenza di ampi sovrascorimenti di coltri alloctoni (Unità Liguridi e Subliguridi) su litotipi originari autoctoni (Unità di Monticiano-Roccastrada e Formazioni della Serie Toscana), come del resto è riscontrabile anche in altre parti della Toscana.

In modo particolare sono riconoscibili due complessi di cui il primo appartiene alla serie Toscana, mentre il secondo è riconducibile al dominio Ligure; questi terreni sono in parte ricoperti dalla successione quaternaria della fase continentale, di antica e recente formazione, derivante dalle azioni di disgregazione, trasporto ed accumulo da parte degli agenti esogeni.

A partire dal Miocene inferiore fece seguito una fase di tettonica distensiva, caratterizzata da assottigliamento crostale e da movimenti prevalentemente verticali che determinano la formazione di grandi fosse orientate in gran parte in senso appenninico e separate tra loro da dorsali.

Queste estese depressioni divennero così sede di ampi bacini dapprima lacustri, quindi lagunari ed infine marini, in cui ebbe luogo un cospicuo processo di sedimentazione (successione neoautoctona); questa si protrasse fino al Pliocene medio quando avvenne un progressivo sollevamento che provocò una generale regressione marina.

A questo fece seguito infine la completa emersione della zona ed il suo modellamento geomorfologico da parte degli agenti esogeni; all'assottigliamento crostale, legato a questa tettonica distensiva, si deve la conseguente risalita di fluidi magmatici in varie aree della Toscana meridionale.

\* \* \* \* \*

Nell'area in esame i terreni direttamente interessati dal dissesto franoso appartengono all'Unità di Santa Fiora, riconducibile al Dominio Ligure esterno che, in letteratura geologica, viene spesso identificato insieme alla zona austroalpina interna.

Il termine "unità" è stato utilizzato in letteratura in senso tettonico e quindi mantenuto anche nelle descrizioni delle caratteristiche stratigrafiche; tuttavia sarebbe più appropriato parlare di "Gruppo di Santa Fiora" in quanto le formazioni che lo costituiscono sono legate fra loro da rapporti stratigrafici.

La zona in esame è caratterizzata da un contesto geologico piuttosto articolato costituito in prevalenza da successioni marnoso-argillitiche ed arenaceo-siltose in cui, le varie fasi tettoniche, hanno prodotto forme ad aspetti assai variabili

Nella geologia di superficie dell'area, per le problematiche legate alla stabilità dei versanti, ricoprono una notevole importanza i sedimenti detritici di recente formazione; questi sono riconducibili alla genesi ed alla evoluzione delle aree fluviali che, a loro volta, sono legate all'azione delle acque di ruscellamento ed ai flussi gravitativi dei sedimenti.

Tali fenomeni sono inoltre favoriti dalla presenza di estese fasce in cui le intense azioni tettoniche, marcate anche dalla presenza di miloniti, hanno dato origine a notevoli quantità di materiale detritico derivante dalla fratturazione delle formazioni originarie.

Entrando nel merito della geologia di dettaglio e più in particolare nell'area in esame è stato possibile distinguere la seguente unità:

#### **FIA - Formazione di Santa Fiora (Cretaceo sup. - Paleocene)**

E' caratterizzata sotto l'aspetto stratigrafico da formazioni siltoso - marnose e calcareo marnose molto simili alla formazione delle "argille con calcaro"; si tratta infatti di una successione caratterizzata da strati di argilliti, siltiti, marne di colore grigio-verdastro, a grana medio-fine e livelli calcarei dal colore grigio piombo.

Il colore dei litotipi è grigio in frattura fresca, mentre in superficie alterata assume il caratteristico colore grigio - verdastro.

I caratteri litologici dell'Unità di Santa Fiora sono, nel loro insieme, riconducibili alle condizioni paleogeografiche in cui è avvenuta la sedimentazione del flysch; la fase di deposito è stata interessata da rilevanti episodi di apporto detritico, con provenienza laterale rispetto all'asse del bacino.

Questi sono rappresentati da olistostromi di materiale derivato dall'Unità ofiolitifera e da arenarie e conglomerati ad elementi in prevalenza carbonatico-quarzosi.

Nell'area in oggetto affiora esclusivamente la Formazione di Santa Fiora che, dal punto di vista litologico, presenta un aspetto relativamente uniforme, con litotipi che si ripetono in sequenze ritmiche tipiche di deposizioni da onde turbide.

Le litologie che vengono riscontrate più frequentemente sono: calcareniti gradate, arenarie fini e siltiti, calcari a grana fine raramente silicei, calcari marnosi, marne di colore grigio scuro (chiaro in superficie alterata) e diaspri neri sottilmente stratificati.

Complessivamente la Formazione di Santa Fiora può essere attribuita ad una facies pelitico-arenacea, costituita da una frazione arenacea gradata (calcareniti gradate o arenarie calcarifere a grana fine e silts) e da una frazione argillitica e calcilutitica; nella maggioranza dei casi la frazione argillitica è predominante sulle altre.

Gli strati marnosi, talvolta presenti all'interno della successione, raggiungono spessori di circa mezzo metro e si presentano fortemente disaggregati ed alterati; il loro aspetto è in prevalenza rappresentato da blocchi rocciosi immersi in una massa limoso-argillosa che testimoniano un assetto caotico dell'unità, con fenomeni di stiramento tettonico, corrugamento e disfacimento assai spinto della formazione rocciosa.

I litotipi che costituiscono la formazione si presentano in superficie decisamente alterate dai processi fisico-chimici determinati dagli agenti esogeni; molto spesso infatti viene rilevata una coltre detritica di disfacimento che sovrasta in parte la struttura originaria.

Lo stato di intensa fratturazione ed alterazione della roccia, con fenomeni di scompaginamento negli strati più competenti (siltoso-argillitici), danno origine ad affioramenti franchi di questa formazione spesso costituiti da una struttura fortemente degradata in cui, solo localmente, si riconoscono i caratteri petrografici e stratimetrici della formazione.

Gli affioramenti della suddetta formazione, sono rilevabili lungo alcuni tagli stradali in cui l'assetto strutturale dell'unità flyscioide risulta caratterizzato da un andamento trasversale alla direzione del versante con leggera rotazione nella direzione di strato, tendente al reggipoggio.

\* \* \* \* \*

La sequenza stratigrafica, individuata lungo il versante, è costituita da diversi termini litologici che si articolano con notevole variabilità presentando, talvolta, sequenze sedimentarie cicliche; altre volte invece l'aspetto è scompaginato e caotico in parte riferibile ad antiche azioni di rimaneggiamento di origine antropica legate a lavorazioni di tipo agrario.

Si possono distinguere le seguenti unità litologiche [Dt] che, a partire dal basso verso l'alto della scarpata, sono:

- a) sabbie argillose a cui si intercalano brecce marnoso-calcaree e blocchi erratici;
- b) argilliti e marne calcaree a cementazione parziale ed irregolare, localmente ricche di matrice sabbioso-limosa di colore bruno rossastra con inclusi blocchi;
- c) detriti fini e sabbie limoso-argillose costituite, nella parte bassa dell'area, da facies più grossolane ad elementi della formazione "siltoso-marnosa".

Si tratta di sedimenti provenienti dal disfacimento della formazione di Santa Fiora con spessori oscillanti tra 3.50 m e 7.0 m.

\* \* \* \* \*

Per quanto concerne la circolazione idrica sotterranea l'alimentazione è riconducibile alla buona permeabilità a monte delle litologie marnose, evidenziata dalla presenza di alcune emissioni sorgentizie che si attivano nei periodi particolarmente piovosi.

L'orizzonte acquifero che alimenta le piccole sorgenti, costituisce generalmente la "falda" caratteristica della formazione di Santa Fiora in cui il meccanismo idrodinamico risulta piuttosto complesso; questa caratteristica della circolazione sotterranea deriva dalle azioni tettoniche, da cui si origina la dislocazione della formazione marnosa, ma anche dall'assetto stratimetrico degli orizzonti siltosi e argilosistosi presenti all'interno della stessa unità di Santa Fiora.

La copertura detritica prevalentemente limoso-argillosa riduce la vulnerabilità all'inquinamento di questa falda sotterranea.

\* \* \* \* \*

Anche se non direttamente interessati dal dissesto franoso in esame le formazioni sedimentarie che caratterizzano l'area di Baccinello sono i sedimenti neogenici a facies continentali che racchiudono formazioni lignitifere; infatti il centro abitato trae le proprie origini proprio dall'attività mineraria che si sviluppò nei terreni dell'omonima Fattoria, dalla quale, ha preso il nome.

Gli affioramenti di lignite erano già noti alla fine dell'ottocento ma, l'attività mineraria vera e propria, ebbe inizio nel 1916 durante il primo conflitto mondiale e andò avanti fino al 1959, intervallata da periodi di sospensione più o meno prolungati.

I sedimenti neogenici che occupano vaste aree della Toscana comprendono estese zone a facies continentali racchiudenti formazioni lignitifere di varie caratteristiche ed entità; i depositi di lignite più diffusi sono sostanzialmente distribuiti in zone di bordura di bacini palustri pliocenici (ad es. Valdarno) o in facies palustri del Miocene medio - superiore che sono abbastanza frequenti nella Toscana Meridionale (Baccinello, Ribolla, ecc.).

Fra tali depositi alcuni rivestirono notevole importanza e dettero luogo in passato ad una intensa e prolungata attività estrattiva, come quelli di Baccinello - Cana e di Ribolla; altri, come quello di Murlo (a sud di Siena) e di Montebamboli (a nord-ovest di Massa Marittima) furono oggetti di escavazioni più modeste e limitate nel tempo.

Il bacino lignitifero di Baccinello - Cana, situato sulle rive del torrente Trasubbie, presenta una successione stratigrafica abbastanza simile a quella di Ribolla; la serie di terreni, dal basso all'alto, è infatti la seguente:

- 1) Flysch alloctono (Formazione di Santa Fiora descritta in precedenza)
- 2) Trasgressione miocenica (conglomerati rossi e grigi con alternanza di argille marnose).
- 3) Banco di lignite picea a frattura scheggiosa.
- 4) Argille scure fetide fossilifere.
- 5) Argille chiare arenacee, sabbie, conglomerati anche grossolani.

La formazione lignitifera è attribuibile al Pontico in facies lagunare o salmastra; sopra i terreni miocenici insiste localmente una sottile serie plio-pleistocenica costituita da conglomerati a matrice argilloso – sabbiosa sormontati da sabbie marine con Ostrea, Venus, ecc.

\* \* \* \* \*

Dalla carta geologica riportata nell'Allegato 1 (stralcio della Sezione 332090 - CARG - Regione Toscana) notiamo che l'area di Baccinello è fortemente caratterizzata da una faglia diretta, ad andamento quasi rettilineo ed orientata NE-SW, che separa le formazioni alloctone dell'Unità di Santa Fiora dai depositi palustri del Turoliano caratterizzati dai livelli lignitiferi descritti in precedenza.

Nello specifico la formazione affiorante nel paese di Baccinello, ed in tutta l'area a NW della faglia suddetta, è rappresentata dalle "Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati" (FOS - Argille del torrente Fosci) di cui in seguito viene riportata una breve descrizione.

Altri affioramenti, sempre riconducibili ai depositi palustri, sono sati cartografati e distinti dalla formazione delle Argille del torrente Fosci per la presenza preponderante della frazione sabbioso-arenacea (MES c) oppure per la presenza di conglomerati poligenici (MES b); in entrambi i casi l'età di questi membri è stata riferita al Turoliano sup.

#### **FOS - Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati (Turoliano inf.)**

La Formazione in esame è denominata anche Argille del Torrente Fosci ed è sinonimo, tra gli altri, di Argille lignitifere lacustri, Argille lacustri, Argille spesso lignitifere, ecc.

Questa formazione è costituita da argille di colore grigio-plumbeo e grigio-nocciola, generalmente massicce, localmente siltose, spesso interessate da sottili intercalazioni di calcari marnosi, color arancio sulla superficie alterata e grigi in frattura fresca.

Talvolta presentano piccoli ciottoli dispersi e sottili lenti di conglomerati minuti, arenarie e marne siltoso-argillose; inoltre, come già anticipato, possono essere presenti livelli e lenti di lignite.

\* \* \* \* \*

Nel complesso assetto geologico assume notevole importanza la porzione detritica quaternaria; questa si caratterizza per la rilevante diffusione areale inoltre, con una certa frequenza, a questi depositi si associano situazioni di instabilità gravitativa.

Lungo il corso del torrente Trasubbie, in particolare sul versante in sinistra idrografica, si rileva una spessa coltre detritica che raggiunge potenze di oltre 10 m.

La sequenza stratigrafica è costituita da diversi termini litologici che si articolano in modo assai variabile; infatti talvolta si presentano con gli aspetti caratteristici della sedimentazione ciclica e/o ritmica mentre, in altri casi, affiorano con aspetti disordinati e caotici riferibili, in certe circostanze, ad antiche azioni gravitative ormai obliterate da situazioni di dissesto attuali.

## 5. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il paese di Baccinello si inserisce nel paesaggio collinare di media acclività che caratterizza la parte centro-meridionale della provincia di Grosseto; il territorio del Comune di Scansano si estende prevalentemente a quote collinari medio-basse, raggiungendo le altitudini minime in prossimità dei corsi d'acqua a regime torrentizio.

Nello specifico la frazione di Baccinello, nel tratto lungo l'asse viario principale (S.P. 24 Fronzina), si trova ad una quota di ca. 155 m s.l.m.; mentre il versante in esame interessato dal dissesto franoso ha una quota che varia da 170 m s.l.m. (tornante lungo la strada comunale del cimitero) fino a scendere a ca. 150 m s.l.m. in corrispondenza dell'alveo del Torrente Trasubbie.

Si tratta in prevalenza di un paesaggio dominato dai seminativi, in parte trasformati in pascoli, con i boschi ristretti ai brevi versanti ripidi o ad aree la cui netta delimitazione indica specifiche condizioni storiche di proprietà e gestione.

Ampliando il contesto geografico alla Toscana meridionale l'area in esame si trova nel margine di una dorsale morfo-strutturale che, con direzione SO-NE, unisce i Monti dell'Uccellina al M.te Amiata; questa dorsale, unitamente alla Dorsale medio-toscana e la Dorsale di Montalcino delimita la depressione che costituisce il bacino del fiume Ombrone e del fiume Orcia.

Lungo l'asse della dorsale, partendo da SO, le quote dei rilievi sono sempre più elevate ed assumono i valori massimi all'estremità nord-orientale in corrispondenza del M.te Labbro (1193 m s.l.m.) e del cono vulcanico del M.te Amiata (1738 m s.l.m.).

Tale dorsale è costituita da formazioni preneogeniche, appartenenti alla serie Toscana, ed alle unità alloctone austroalpine e liguri.

\* \* \* \* \*

Dal punto di vista idrogeologico l'area in esame è caratterizzata dal corso del torrente Trasubbie; i corsi d'acqua, con i loro processi di erosione, trasporto e sedimentazione sono gli ambienti che meglio caratterizzano il paesaggio naturale.

Il torrente Trasubbie, unitamente torrente Trasubbino suo affluente, sono tipici corsi d'acqua della Toscana meridionale, caratterizzati da un tratto iniziale di intensa erosione e da un tratto medio-terminale con un carico di detriti superiore a quelli che possono trasportare; il materiale in eccesso viene dunque deposto sul fondo dell'alveo, provocando un'abbondante sedimentazione.

Il trasporto dei ciottoli, sotto la spinta della corrente di piena, avviene soprattutto per trascinamento sul fondo e, anche se possono compiere brevi tratti sospesi nelle acque torbide, vengono abbandonati bruscamente con il diminuire del gradiente e quindi dell'energia fluviale, formando accumuli di detriti che favoriscono l'arresto di altri ciottoli e la rapida crescita di dossi o barre fluviali.

Le barre fluviali crescono fino a formare strutture più mature e stabili chiamate terrazze fluviali, che condizionano fortemente lo scorrimento delle acque nei periodi di morbida e magra; la superficie dei terrazzi fluviali è estremamente variabile nel tempo infatti tendono a modificarsi, ad accrescere rapidamente o ad essere erosi ed a migrare sotto la spinta della corrente fluviale, così che la loro forma e posizione risulta in continuo mutamento.

Tali processi creano una distesa di alluvioni ghiaioso-ciottolose che conferiscono al letto fluviale una particolare conformazione larga e poco profonda apparentemente sproporzionata rispetto alla portata del corso d'acqua; la morfologia è simile a quella delle "fiumare" di Calabria, Sicilia o arco alpino, solcate da una rete di canali appena incisi quasi del tutto asciutti durante l'estate e percorse da improvvise e violente piene durante il periodo autunnale e/o primaverile.

Questo tipo di greto a canali intrecciati è presente in numerosi torrenti e fiumi della Toscana meridionale e il torrente Trasubbie ne è sicuramente un esempio significativo; la particolare organizzazione del tracciato fluviale rappresenta l'espressione più naturale della dinamicità fluviale in alvei caratterizzati dall'abbondante carico di ciottoli e dalle dinamiche di trasporto e sedimentazione.

\* \* \* \* \*

Per poter valutare le caratteristiche di circolazione sotterranea è importante associare, in modo qualitativo, le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti costituenti le aree di interesse; va precisato che il concetto di permeabilità, nel caso di terreni sciolti, è ben diverso da quello relativo ai terreni di origine lapidea.

Infatti nel primo caso la permeabilità, e quindi la capacità di circolazione idrica, è legata alla porosità, alla granulometria ed al grado di addensamento; mentre nelle formazioni lapidee la permeabilità dipende principalmente dalla densità, dalla persistenza, dalla distribuzione e dalla spaziatura delle fratture, oltre che dall'assetto stratimetrico dei corpi rocciosi.

L'attribuzione ad una classe di permeabilità è stata effettuata mediante l'analisi litologica ed osservazioni dirette, messe a confronto con altri lavori e studi condotti sulle formazioni affioranti nel territorio; pertanto sulla base della carta geologica e sulle caratteristiche primarie e secondarie dei sedimenti presenti è possibile attribuire questi ultimi alla classe di permeabilità variabile da scarsa ad impermeabile.

Nella classe suddetta possono essere inserite quelle rocce, a composizione argillosa, nelle quali mediamente si riscontra una minima penetrazione dell'acqua; le frazioni argiloscistose ed argillose della formazione affiorante sono da attribuire alla classe di permeabilità suddetta.

Le evidenze idrogeologiche dell'area indicano per i livelli calcareo-marnosi, interessati dagli effetti delle azioni tettoniche, una classe di permeabilità mediocre.

\* \* \* \* \*

Considerando l'inquadramento morfologico generale, l'area in esame si inserisce all'interno di un fronte collinare dove si evidenzia un elevato spessore di materiale di "riempimento" colluviale-alluvionale; l'ambiente morfogenetico ha determinato un disfacimento riconducibile ad antiche deformazioni del suolo.

Tali deformazioni sono condizionate dalle azioni meteoriche in cui le modificazioni fisiche, prevalentemente meccaniche, hanno un ruolo predominante rispetto a quelle chimiche, infatti la combinazione fra il tipo di litologie presenti ed i fattori ambientali, unitamente al tempo di esposizione, ha innescato fenomeni di disaggregazione meccanica molto intensi da cui come conseguenza derivano, molto spesso, trasformazioni di tipo chimico.

Le modificazioni di tipo clastico, interagendo con i livelli lapidei, hanno generato prismi e blocchetti secondo i piani di debolezza delle fratture; dove invece la fratturazione è avvenuta secondo i piani di scistosità si sono originate le tipiche scagliette (siltite) che si accumulano lungo i versanti.

In tutto questo contesto l'acqua di ruscellamento ha avuto ed ha un effetto primario, infatti penetrando nei pori e nelle fratture delle rocce, attraverso i suoi passaggi di stato (gelo e disgelo), determina la disaggregazione della massa lapidea; inoltre agendo come un fluido che trasporta sostanze diverse in soluzione genera trasformazioni di tipo chimico.

Le azioni di disaggregazione sopra descritte hanno dato origine ad una coltre detritica sul versante che, progressivamente, si è ispessita sia per fenomeni gravitativi che per le acque di ruscellamento diffuso e concentrato.

### ***Evoluzione del versante***

Nell'area in esame, in fase preliminare, è stato effettuato un rilievo topografico di dettaglio per definire il quadro geomorfologico ed evolutivo del dissesto; il fine di questo è circoscrivere l'area in evoluzione ed individuare il meccanismo di deformazione avvenuto.

Successivamente al rilievo topografico è stata eseguita una verifica degli assetti strutturali del terreno attraverso l'esecuzione di prospezioni geofisiche in situ (profili di sismica a rifrazione); attraverso l'elaborazione dei dati derivanti dalle indagini suddette è stato determinato l'assetto stratigrafico ed è stata definita l'evoluzione del versante.

E' evidente un sistema fessurativo nella zona di interesse che può essere suddiviso, in relazione alle strutture interessate, in più meccanismi di deformazione; in particolare nell'area si rilevano le seguenti alterazioni:

- rottura del margine della scarpata in prossimità della strada comunale sul margine esterno della carreggiata; si tratta di una rottura, di forma per lo più curvilinea, che delimita il margine superiore del dissesto frano. Lungo la strada comunale il rigetto è di oltre 50 cm anche se, nel corso dei mesi scorsi e di recente, è stato spesso livellato con riporti di bitume sulla carreggiata stradale.
- zona a forte acclività con materiali detritici e denudamento della copertura lungo la scarpata dell'alveo di frana; questa prosegue in modo evidente nella sponda in sinistra idrografica del torrente Trasubbie all'interno della zona delle acque incanalate.

Lungo l'asse trasversale della frana i terreni adiacenti, richiamati verso l'asse centrale del dissesto, si adagiano con un andamento scalettato di dimensioni variabile; la sezione longitudinale del corpo di frana risulta avere un forma curvilinea, in particolare nel primo tratto, posizionata all'incirca nella parte centrale della corona di frana con evidente forma concava.

In un secondo tratto si evidenzia un andamento per lo più rettilinea che si raccorda con un'altra rottura; questa è messa in evidenza dalla presenza di una seconda scarpata che interessa il margine di scarpata verso il torrente Trasubbie.

L'alveo del corpo di frana termina con un evidente cumulo detritico originato da movimenti traslativi attivati da alterne fasi di erosione al piede della scarpata; tale erosione è dovuta alle acque di scorrimento del Torrente Trasubbie e del suo affluente in sinistra idrografica (fosso del Becco).

In alcuni tratti della scarpata, all'interno della massa detritica, si individuano sporadici massi erratici, di dimensioni variabili, che arrivano nell'alveo dei corsi d'acqua suddetti attraverso fasi combinate di rotazione e traslazione.

Attraverso il rilievo geomorfologico di dettaglio è stato possibile osservare che il meccanismo evoluzione del fronte frano è avvenuto, in modo particolare, al contatto fra la formazione rocciosa e la porzione detritica; parte del substrato viene "strappato" dall'effetto di traslazione dei terreni sovrastanti, coinvolgendo in alcuni casi la porzione di "regolite" alterata e disaggregata del flysch prevalente all'interno della massa marnosa.

Il denudamento della porzione rocciosa, viene rilevato in prossimità della confluenza tra il torrente Trasubbie ed il fosso del Becco; le acque di scorrimento del torrente, soprattutto nelle fasi più intense delle piene, erodono le frazioni più alterate e frammentate portando all'affioramento di livelli e bancate calcaree anche di notevoli dimensioni.

## 6. INDAGINE GEOFISICA

### ***Sismica a rifrazione***

Sulla base delle evidenze scaturite dal rilievo geomorfologico, unitamente all'analisi del meccanismo di deformazione, è stato deciso di effettuare una serie di indagini geofisiche allo scopo di definire lo spessore dei terreni di copertura interessati dal dissesto e l'evoluzione delle deformazioni gravitative del versante.

L'indagine geofisica si è articolata attraverso l'esecuzione n. 4 profili di sismica a rifrazione con spaziatura geofonica variabile; l'ubicazione di questi profili, riportata nell'Allegato n. 7, è stata scelta per valutare se il fronte del dissesto, oltre la zona visibile a valle della strada comunale, poteva avere un potenziale allargamento anche nella parte a monte dove, allo stato attuale, non sono state rilevate tracce evidenti di movimenti franosi.

La diversa configurazione geofonica ha avuto lo scopo di verificare, sia a grande scala che nel dettaglio, le situazioni critiche del versante e le eventuali evoluzioni anche in zone dove non sono visibili segni di lacerazione corticale.

### ***Modalità di acquisizione dati***

I profili sismici a rifrazione vengono eseguiti disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad un intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili; nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger) dei segnali ricevuti dai sensori negli istanti successivi.

Nella presente indagine è stato utilizzato il sismografo digitale Pasi 16S G24 a 24 canali, con geofoni Mark Products a 10 Hz e 4Hz; come sorgente sismica è stata impiegata una mazza da 8 Kg con piastra in acciaio, sistema che è risultato in grado di fornire l'energia sufficiente per l'indagine.

Date le caratteristiche dell'obiettivo del rilievo sismico il dispositivo di acquisizione è stato scelto con geofoni a cadenza di 1.5 - 2 m; tale disposizione ha permesso di investigare un volume significativo di circa 15 m di profondità.

La qualità dei sismogrammi è risultata sempre accettabile; la possibilità di elaborare il segnale mediante filtraggio (campionamento ad intervallo di 500 microsecondi e filtraggio low-pass a 96 Hz) ha eliminato i disturbi prodotti da eventuali interferenze da parte dei rumori di fondo.

### ***Tecnica di interpretazione***

La tecnica di interpretazione è caratterizzata da due fasi distinte che sono l'interpretazione dei sismogrammi e l'interpretazione dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone).

Nella prima fase i tempi di primo arrivo dei segnali sismici vengono letti direttamente sui sismogrammi di campagna; i tempi letti in corrispondenza di ciascun canale (geofono) vengono quindi elaborati direttamente e costituiscono i dati in input del software utilizzato.

Per ciascun tiro si ricostruisce un diagramma dei tempi di arrivo in funzione della distanza dal punto di tiro stesso; l'interpretazione delle dromocronie consiste quindi nel suddividere la funzione tempi - distanze in segmenti, a pendenza differente, indicativi della presenza di variazioni di velocità nel sottosuolo.

Questa operazione viene eseguita ad un terminale videografico dove è possibile eseguire modifiche ed aggiustamenti continui dell'interpretazione.

Il numero di segmenti per ciascuna funzione equivale al numero di strati che costituiranno il modello interpretativo finale; tale modello consiste in una stratigrafia del terreno basata sulle variazioni di velocità delle onde compressionali.

Nell'assegnare un significato geologico/litologico alla suddetta stratigrafia, è necessario tener conto del fatto che il metodo sismico a rifrazione presuppone l'esistenza di velocità sempre crescenti nel sottosuolo; per tale motivo l'eventuale presenza di un livello a velocità più bassa, intercalato ad una serie più veloce, non può essere rilevato con le tradizionali metodologie di interpretazione.

Questa limitazione può essere comunque risolta con le nuove metodologie di analisi mediante la tecnica tomografica, nella quale si diversifica il sottosuolo mediante celle elementari costituite in modo indipendente da alcuni parametri (rigidezza, lentezza, ecc.)

Pertanto la metodologia di elaborazione applicata è stata quella del metodo tomografico; questa tecnica analizza la distribuzione della velocità mediante lo studio del gradiente di velocità.

I principi di elaborazione possono essere molteplici (Ray Tracing, WET, ecc.); la tecnica WET (Wayfront Eikonal Traveltime) in particolare, sfruttando un algoritmo a differenze finite, si dimostra efficace in situazioni con morfologie complesse dei rifrattori, con forti contrasti di velocità e con topografie accidentate.

L'output finale del software è costituito da una sezione nella quale sono evidenziate le variazioni di velocità e la distribuzione laterale della stessa; da questi dati è possibile successivamente interpretare i fenomeni geologico-geomorfologici che caratterizzano la sezione sismostratigrafica.

### ***Tomografia sismica***

Permette di individuare superfici molto inclinate anche in presenza di limiti poco definiti, gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità e locali anomalie di velocità dovuti ad inversioni della stessa propagazione delle onde o zone destrutturate.

Questa tecnica consente di identificare anomalie strutturali del terreno, grazie alla diversa propagazione delle onde sismiche, con un potere risolutivo migliore dando la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, spesso condizionate dalla topografia e dall'assetto strutturale dei terreni.

L'elaborazione tomografica viene essenzialmente sviluppata attraverso i seguenti passaggi:

- inserimento della geometria dello stendimento sismico, comprendente la posizione dei geofoni, la spaziatura il relativo dislivello e posizionamento degli shot lungo la linea
- picking dei primi arrivi rifratti e costruzione delle dromocrona sperimentali
- inversione dei dati e costruzione di un profilo monodimensionale 1D mediante l'algoritmo Delta t-V
- elaborazione del profilo 1D mediante l'ausilio dell'inversione tomografica WET (Wayfront Eikonal Traveltime)
- verifica dell'errore e del fit tra la dromocrona sperimentale e quella calcolata, fino alla convergenza per successive iterazioni
- restituzione della sezione sismostratigrafica in forma tomografica, con rappresentazione delle variazioni di velocità e delle anomalie in funzione della profondità.

### ***Risultati conseguiti***

I risultati ottenuti dall'analisi delle dromocrona ha portato alla costruzione di un modello a cinque strati (Allegati n. 3, n. 4 e n. 5).

Pertanto si possono individuare:

- un primo strato (strato allentato ed alterato), caratterizzato da una velocità sismica molto bassa (300-500 m/sec), corrispondente alla porzione di materiale detritico più allentata soggetta all'azione di scorrimento;
- un secondo strato, avente velocità sismiche di 600-700 m/sec, corrispondente ad una facies detritica interessata dallo scorrimento;
- uno strato alterato, con velocità sismica di 800-900 m/sec corrispondente ai materiali derivanti dal disfacimento delle rocce del substrato interessate da alterazione. Il passaggio fra i due strati sopra descritti avviene in modo netto.
- un substrato marnoso-filladico con velocità delle onde di compressione di 1200 – 1500 m/sec;
- un substrato marnoso-arenaceo con valori intorno ai 1500 m/sec e 2000 m/sec per le porzioni più compatte.

### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Profilo di sismica n. 1



Profilo di sismica n. 2



Profilo di sismica n. 3



Profilo di sismica n. 4

### **Profilo di sismica n. 1 – [Allegato n. 3]**

E' stato eseguito con interdistanza geofonica variabile, con disposizione  $Dx = 1.5$  m e  $Dx = 2.0$  m, al fine di evidenziare eventuali discontinuità trasversali lungo la pendenza nelle zone oggetto di scollamento della copertura detritica.

E' stata evidenziata la presenza di una zona a bassa velocità, individuata lungo tutto il profilo, dove si manifesta una articolazione della copertura detritica in dissesto con una zona di contatto con il substrato, corrispondente ad una tipica forma concava.

Lo spessore dei terreni oggetto di scollamento sono localizzati tra i 4.50 fino ai 5.50 m nella porzione di monte (geofoni n.12 – n.18) e tende a rimanere costante verso la strada comunale.

Sotto al livello detritico, si individua un orizzonte con litotipi di consistenza media, di spessore uniforme che sormonta un substrato detritico, di natura "regolitica", avente una velocità sismica delle onde [P] di 800 - 900 m/sec.

Il substrato roccioso, di natura scistoso-filladica, viene rilevato con una velocità sismica di 1200 – 1500 m/sec, in relazione alla posizione morfologica, ad una profondità variabile tra i 5 e i 6.5 m di profondità.

E' abbastanza evidente la porzione in dissesto e le problematiche connesse all'erosione al piede da parte del torrente Trasubbie; lo spessore della copertura in movimento è definibile tra le velocità di 500 e 600 m/sec, con potenze intorno ai 5.0 m.

All'interno della massa in oggetto sono visibili zone con velocità sismiche più basse che testimoniano fenomeni di imbibizione subiti dai terreni superficiali; infatti la presenza di rotture trasversali, causate dall'evento franoso, facilitano l'infiltrazione delle acque piovane con il conseguente coinvolgimento di porzioni di terreno sempre più ampie con l'avanzamento del fronte di frana verso monte.

### **Profilo di sismica n. 2 – [Allegato n. 4]**

Questo profilo è stato eseguito parallelamente all'alveo del torrente Trasubbie per rilevare il possibile ampliamento del fronte franoso.

La fascia dei terreni interessati dal cedimento e dal movimento viene rilevata su tutto il fronte esaminato; questo conferma un ampliamento verso NNE dell'evento franoso che termina, con una rilevante scarpata di frana con rigetto di circa 1.0 m, nel settore compreso fra la strada comunale ed il ciglio della scarpata che termina nell'alveo del torrente Trasubbie.

Lo spessore dei terreni interessati dallo scollamento risulta congruente con il profilo traversale, con potenze intorno ai 5.0 m; il meccanismo di rottura e di movimento della copertura non risulta omogeneo infatti, le zone oggetto di maggiore vulnerabilità (geofoni n.12 - n.19) risultano all'incirca localizzate a NNE, innescando un processo a catena verso i terreni più stabili che, privi di un sostegno più a valle, tendono a mobilitarsi lungo la zona di contatto tra il substrato roccioso e la porzione regolitica.

### **Profilo di sismica n. 3 – [Allegato n. 5]**

Il profilo di sismica n.3 risulta coniugato al profilo n.1, ed è stato eseguito proseguendo l'indagine verso monte, compatibilmente con l'accessibilità dell'area.

La zona interessata dal dissesto prosegue all'interno fino alla rottura sulla strada che si manifesta con uno scalino di alcuni decimetri, livellato con il bitume per consentire il transito agli autoveicoli.

La deformazione dei terreni viene annotata fino al geofono n. 9, con l'articolazione della linea di isovelocità di 600 m/sec; a partire dalla posizione dei geofoni n.11 - n.12, si manifesta una nuova deformazione dei terreni detritici, segno di un prolungamento del fronte in dissesto causa l'assestamento progressivo dei terreni di valle richiamati dalla presenza di più zone in dissesto.

Lo spessore dei terreni interessati dallo scollamento risulta leggermente ridotto con la tendenza ad aumentare verso E con potenze intorno ai 4.0 m.

### ***Profilo di sismica n. 4 – [Allegato n. 6]***

Questo profilo è stato eseguito con il fine di analizzare il tratto di maggiore interesse, vale a dire il coronamento di frana presente sulla sede stradale; per tale motivo l'allineamento dei geofoni è stato disposto ortogonalmente al gradino presente nel bitume che, a seguito di eventi piovosi consistenti, anche nelle ultime settimane ha mostrato segni di movimento.

Il risultato di tale verifica ha permesso di rilevare la presenza articolata della zona di scollamento ed il proseguimento della stessa verso S (fosso del Becco); la porzione detritica in dissesto è localizzata nella zona di contatto con il substrato, corrispondente ad una tipica forma concava che si manifesta in modo evidente tra i geofoni n.8 e n.21.

La zona di scollamento prosegue, sia a N che a S, scendendo in profondità, testimoniando quindi un ampliamento del fronte in dissesto ed un maggiore ispessimento della frana verso il fosso del Becco.

Lo spessore dei terreni in evoluzione sono localizzati al contatto con la facies rocciosa sottostante, tra i 4.50 e i 5.50 m, nella porzione centrale dello stendimento (geofoni n. 8 – n. 21); come già anticipato lo spessore tende ad aumentare verso S, mentre a N potrebbe verificarsi un allargamento del movimento franoso principale a causa dell'arretramento verso monte dello scalino di frana presente sulla carreggiata.

## **7. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE**

Per quanto concerne la parametrizzazione geomeccanica del terreno appare evidente la difficoltà di caratterizzare la copertura detritica; questo è dovuto, oltre alla presenza di materiale grossolano al suo interno, anche dall'impossibilità di prelevare campioni di terreno indisturbati.

I terreni detritici in particolare presentano un'estrema variabilità ed una profonda anisotropia strutturale, che comportano alterazioni fisico meccaniche d'insieme, certamente diverse da quelle riprodotte in condizioni di laboratorio.

Pertanto è stata eseguita una back analisys per determinare le condizioni critiche raggiunte dai terreni di copertura e, rispettivamente, quei parametri geomeccanici che sono ricavabili facendo variare la pressione neutra all'interno dei depositi stessi.

Nel valutare il modello geologico dei terreni, vista l'evidente difficoltà di caratterizzare i singoli litotipi, è stata effettuata una sorta di zonazione, accorpando quelle che per caratteristiche di addensamento, coesione e stratigrafia, avessero una affinità geomeccanica.

Abbiamo quindi suddiviso le varie successioni litologiche in classi litotecniche; questo ha permesso di valutare, puntualmente, il comportamento meccanico della struttura geologica e le sue possibili variazioni sia in senso verticale che in senso orizzontale.

Nonostante la difficoltà di procedere alla determinazione dei parametri geotecnici, l'esito complessivo delle verifiche, ha fornito un quadro sufficientemente realistico che, confrontato con la situazione geologico-stratigrafica individuata, ci permette di avere un quadro oggettivo della situazione d'insieme, così da poter programmare misure di interventi atti a ridurre eventuali criticità.

Alcuni di questi valori sono stati valutati con il metodo di classificazione degli ammassi rocciosi, considerando lo stato tensionale, le caratteristiche litologiche e la composizione granulometrica; nella valutazione dei parametri a lungo termine, le variazioni dei parametri di resistenza al taglio scaturiscono dalla distribuzione in senso verticale del grado di addensamento, della litologia e dalla consistenza dell'unità detritica nelle sue possibili variazioni.

Nel calcolo dell'azione sismica è stata considerata la classe relativa alle NTC 2008, considerando il terreno di fondazione appartenente alla categoria di suolo di tipo [B] (vedi determinazione del profilo stratigrafico di fondazione); tale applicazione è stata considerata nella fase di progetto degli interventi di consolidamento.

Per le verifiche i dati iniziali introdotti sono stati il profilo topografico della superficie morfologica sottesa dalla sezione considerata, la stratigrafia e l'idrogeologia dell'area scaturite dall'indagine geofisica, le proprietà fisico tecniche dei terreni ed infine l'assenza di sisma; quest'ultima condizione permette di verificare lo stato di fatto.

## MODELLO GEOTENICO DI RIFERIMENTO

Range Valori di velocità onde di compressione [P]	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	PARAMETRI GEOTECNICI
200 - 500 m/sec	Depositi di scollamento di natura argilloso-limosa, detriti superficiali di alterazione, costituiti da masse caotiche di flysch argilloso-filladico e miscele limoso-sabbiose, di scarsa consistenza	Peso di volume ( $\gamma$ ) = 1.80 g/cm <sup>3</sup> Coesione [C] = 0.1 Kg/cm <sup>2</sup> Angolo di attrito [ $\phi$ ] = 16.0°
600 - 900 m/sec	Sedimenti di disfacimento della formazione flyscioide, costituiti da argiloscisti alterate, con pseudostratificazione ad assetto scompaginato.	Peso di volume ( $\gamma$ ) = 2.0 g/cm <sup>3</sup> Coesione [C] = 0.2 Kg/cm <sup>2</sup> Angolo di attrito [ $\phi'$ ] = 20°
900 – 1500 m/sec	Unità del flysch argilloso-filladico interessata da sistemi di giunti molto sviluppato	Peso di volume ( $\gamma$ ) = 2.4 g/cm <sup>3</sup> Coesione [C] = 1.2 Kg/cm <sup>2</sup> Angolo di attrito [ $\phi'$ ] = 22.0°

Le verifiche di stabilità sono state quindi condotte secondo l'approccio 1 con la combinazione A2+M2+R2.

Il pendio risulta verificato generalmente quando il rapporto tra resistenza di progetto e forze mobilitanti è maggiore di 1.0.

Nell'analisi pseudostatica, dove si considera anche l'azione sismica il pendio risulta verificato quando il coefficiente di sicurezza è maggiore o uguale ad 1.15.

Il versante è stato analizzato come costituito da materiali, aventi una sovrapposizione meccanica crescente con la profondità, come risultato di un versante costituito da materiali sciolti, dotati di coesione e angolo di attrito efficace, con un comportamento dello stato tensionale in condizioni drenate.

### **8. VERIFICHE DI STABILITÀ**

In questa fase, per consentire di valutare il meccanismo di evoluzione del sistema frano, è stata effettuata una verifica di stabilità del versante in esame con lo scopo di evidenziare la superficie di scivolamento critica del versante; questo consente di stimare l'eventuale evoluzione del corpo frano verso monte.

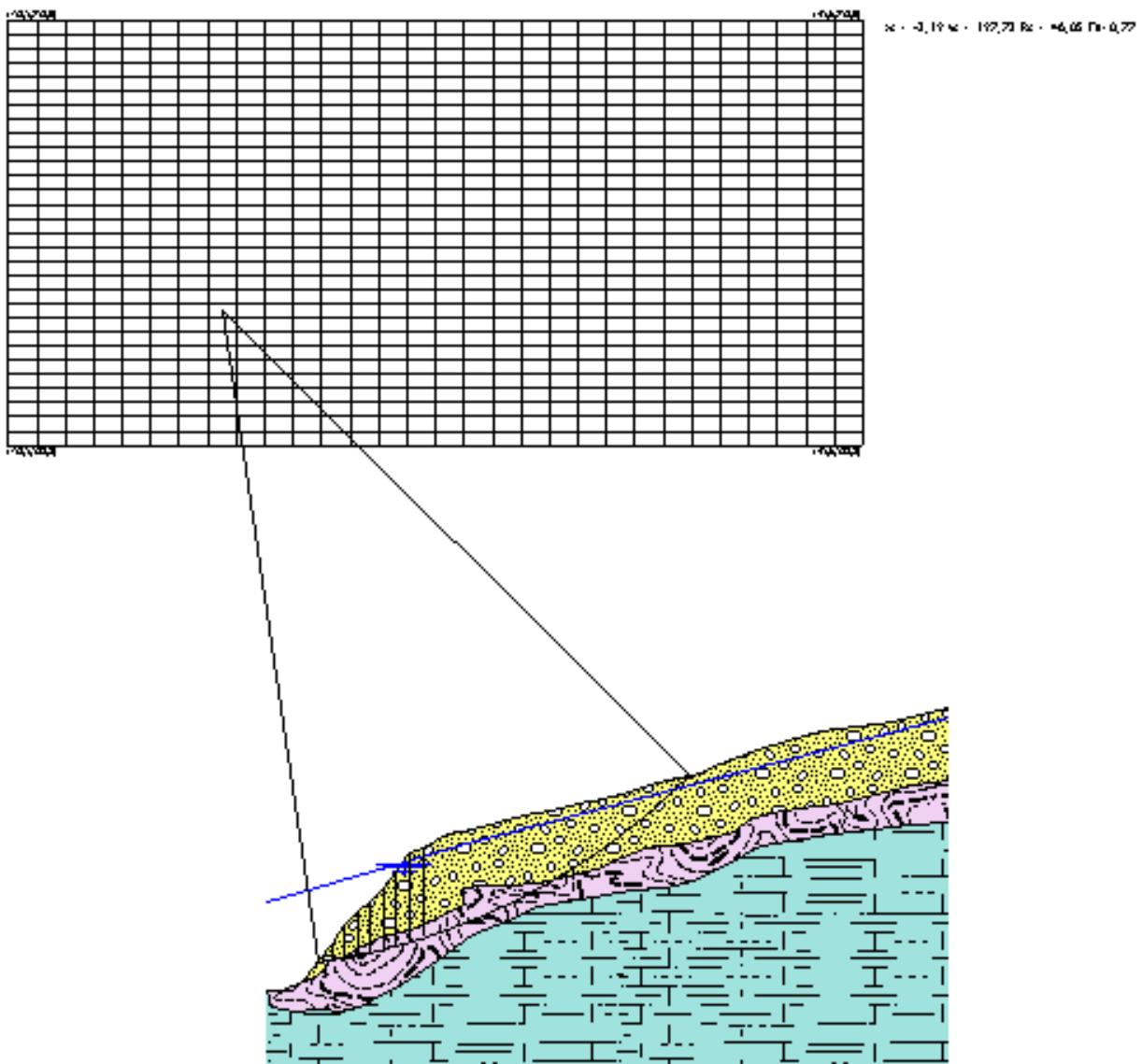
Con questa verifica è stata eseguita una valutazione oggettiva della superficie di scivolamento critica determinando, nella situazione attuale, la condizione di sicurezza con coefficiente pari ad  $F = 1.3$ .

Determinata la probabile linea di scorrimento critica, si sono successivamente valutate le opere di consolidamento, tenendo presente che la condizione di sicurezza, prevista dal D.M. 14/01/2008, prevede un coefficiente di sicurezza  $F = 1.0$ , considerando inoltre la classe di sismicità dell'area.

Le verifiche sono state eseguite tenendo conto della condizione idraulica che ha generato il fenomeno frano; la simulazione successiva, nella quale si tiene conto delle variazioni di pressione neutra nei terreni, permette di evidenziare la zona critica e la superficie di distacco del corpo detritico.

La superficie di scorrimento del corpo frano rientra in una forma di tipo arcuato; l'analisi di stabilità eseguita in forme di rottura composita tendono comunque ad avvicinarsi a quella di tipo circolare.

Il coinvolgimento delle porzioni di terreno più a valle dell'area in distacco, mettono in evidenza un'evoluzione anche di tipo traslazionale, per gli effetti di un sovraccarico indotto dalla massa in movimento proveniente dall'alto



La figura sopra riportata si riferisce alla verifica di stabilità effettuata considerando superfici di rottura circolari; il programma di calcolo trova, nel profilo topografico del versante, l'area a maggiore criticità che corrisponde al valore di  $F_s$  più basso.

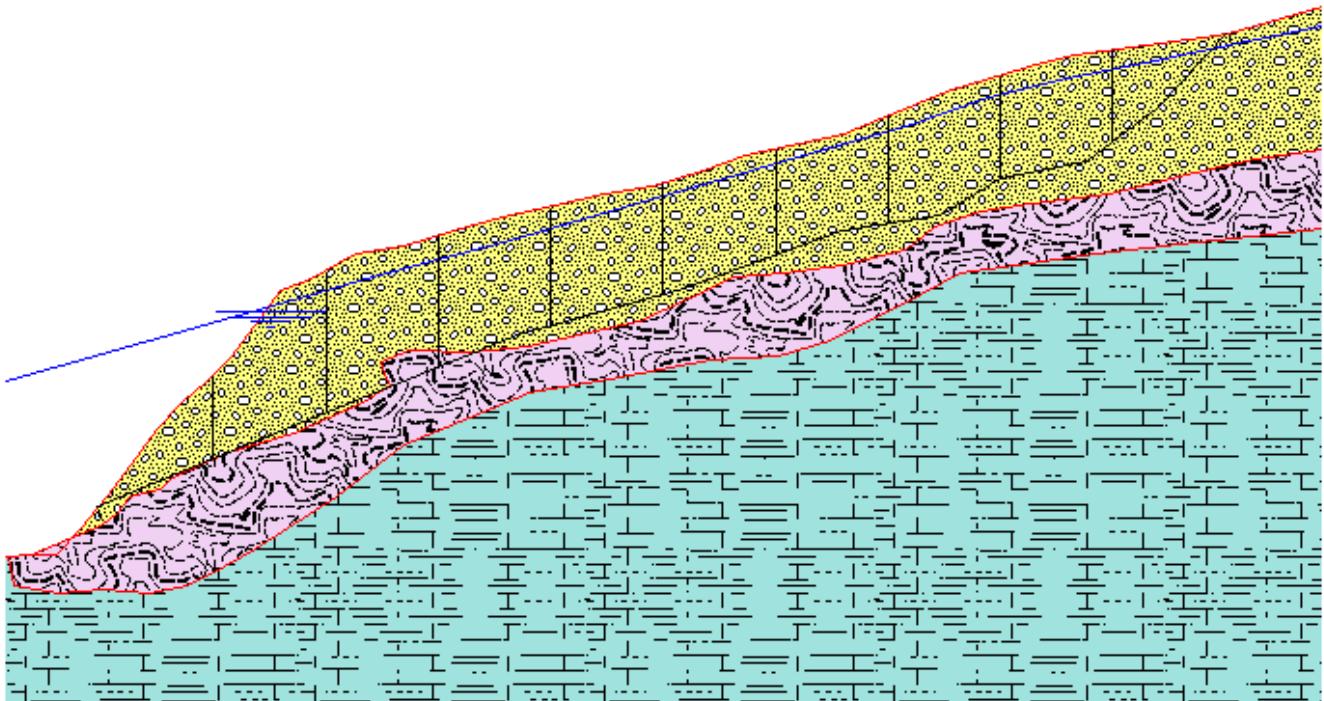
#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	0,77
Ascissa centro superficie	-3,19 m
Ordinata centro superficie	197,73 m
Raggio superficie	46,05 m

**Analisi dei conci. Superficie...xc = -3,192 yc = 197,73 Rc = 46,049 Fs = 0,7743**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Ky•Wi (Kg)	C (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,09	8,4	0,1	4,45	0,0	0,0	0,15	12,0	5313,9	-21,9	180,0
2	0,9	9,0	0,91	494,73	0,0	0,0	0,15	12,0	5379,3	210,7	1845,9
3	0,9	10,2	0,91	1371,78	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	698,6	3932,4
4	0,9	11,3	0,92	2175,37	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	1376,8	4286,1
5	0,9	12,5	0,92	2717,33	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	1805,8	4526,0
6	0,9	13,6	0,93	3228,07	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	2201,7	4755,6
7	0,9	14,8	0,93	3906,62	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	2748,8	5064,7
8	0,9	15,9	0,94	4695,03	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	3392,1	5428,5
9	1,0	17,2	1,05	11820,74	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	9709,9	9019,4
10	18,55	31,5	21,75	169276,7	0,0	0,0	0,15	12,0	4042,8	72570,7	72750,2

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.



La seconda figura sopra riportata si riferisce alla verifica di stabilità effettuata considerando superfici di rottura composite; questa simulazione è quella che più si avvicina alla condizione reale.

**Analisi di stabilità dei pendii con JANBU**

Normativa	D.M. 88/96
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	150,15
2	0,9	150,19
3	1,8	150,21
4	2,7	151,15
5	3,6	152,29
6	4,5	153,44
7	5,4	154,76
8	6,3	155,71
9	7,2	156,41
10	8,1	157,34
11	9,0	158,52
12	9,9	159,78
13	10,9	160,09
14	12,6	161,08
15	14,4	161,4
16	16,2	161,91
17	17,9	162,44
18	19,8	162,81
19	21,6	163,22
20	23,4	163,55
21	25,2	164,12
22	26,7	164,63
23	28,7	165,07
24	30,3	165,45
25	31,6	166,0
26	34,2	167,0
27	37,5	168,0
28	38,7	168,29
29	43,8	169,0
30	44,2	169,07
31	47,6	170,0

**Falda**

Nr.	X m	y m
1	0,0	156,48
2	9,59	159,22
3	13,28	160,27
4	17,75	161,45
5	32,77	165,75
6	35,32	166,69
7	38,37	167,47
8	41,2	168,02
9	47,6	169,35

**Vertici strato .....2**

N	X m	y m
1	0,0	150,15
2	0,01	150,15
3	0,25	149,1
4	1,86	148,77
5	3,47	148,93
6	5,13	148,77
7	6,52	149,04
8	7,35	149,49
9	9,01	150,43
10	11,94	152,26
11	14,38	154,14
12	16,76	155,14
13	18,92	156,03
14	21,86	156,52
15	25,46	157,24
16	27,9	157,35
17	29,78	157,91
18	32,5	159,24
19	34,49	160,4
20	36,49	160,68
21	39,48	161,07
22	42,47	161,45
23	45,02	161,73
24	47,6	161,98

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0,0	150,15
2	0,9	150,19
3	3,4	151,23
4	4,04	151,7
5	4,43	152,26
6	5,56	152,58
7	6,02	152,98
8	8,01	153,92
9	10,39	154,58
10	12,89	155,69
11	13,88	156,3
12	13,72	156,58
13	13,55	157,19
14	14,6	157,58
15	16,82	157,52
16	18,87	157,74
17	22,91	158,63
18	24,74	159,46
19	26,35	160,24
20	28,12	160,4
21	30,23	160,68
22	32,55	161,23
23	33,61	162,06
24	35,27	162,62
25	37,1	162,89
26	39,92	163,23
27	42,36	163,89
28	45,18	164,5
29	47,6	164,89

**Vertici superficie Nr...1**

N	X m	y m
1	3,24	151,97
2	8,85	154,27
3	18,48	158,18
4	24,47	159,85
5	30,25	161,93
6	33,8	162,5
7	35,93	163,8
8	39,11	164,43
9	41,61	166,36
10	44,17	169,12

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

**Stratigrafia**

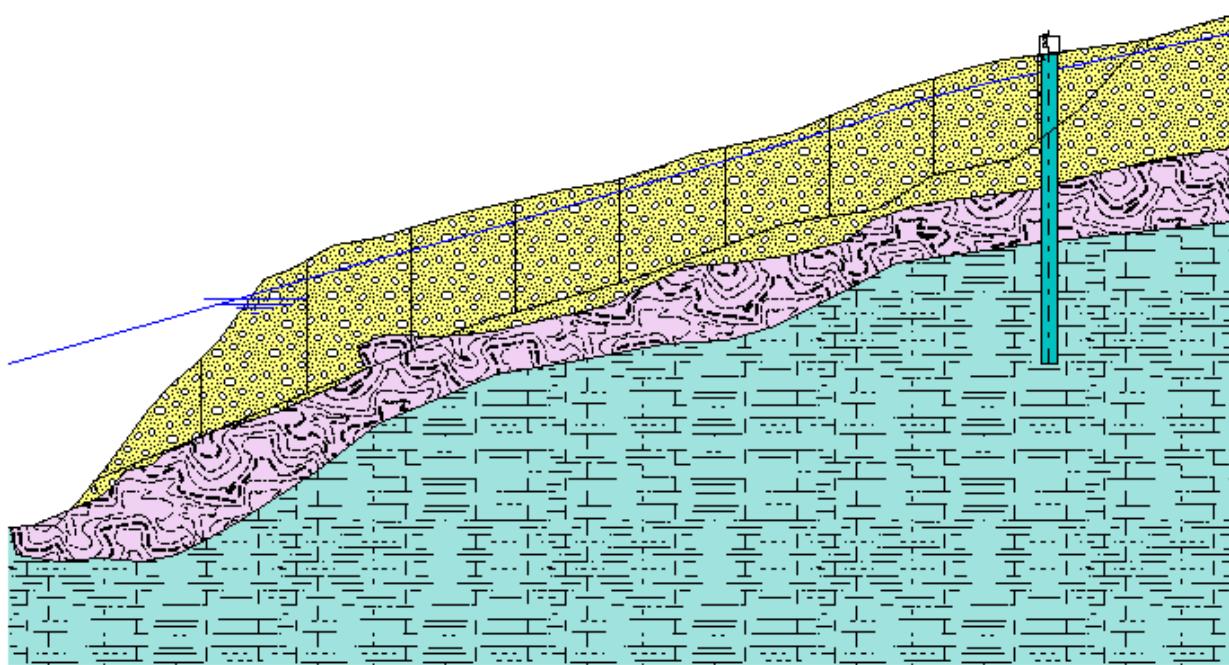
Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,15		12	1800,00	1900	0,00	detrito
2	0,3		20	1950	2000	0,00	marne e scisti alterati
3	0,5		22	2100	2200	0,00	Marne

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Satura; K: Modulo di Winkler

**Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza = 0,96**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	C (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,07	22,3	4,4	7056,03	0,0	0,0	0,15	12,0	5160,1	4416,2	8449,4
2	4,07	22,2	4,4	36274,64	0,0	0,0	0,15	12,0	4655,0	14607,2	10851,7
3	4,07	22,1	4,39	39226,86	0,0	0,0	0,15	12,0	4157,4	19547,1	12013,2
4	4,07	20,2	4,34	35191,73	0,0	0,0	0,15	12,0	3660,6	17699,8	11338,5
5	4,07	15,5	4,23	31940,45	0,0	0,0	0,15	12,0	3507,5	15548,0	10372,2
6	4,07	19,1	4,31	30492,96	0,0	0,0	0,15	12,0	3401,7	14210,1	10396,4
7	4,07	15,6	4,23	28621,04	0,0	0,0	0,15	12,0	3292,0	13149,3	9832,0
8	4,07	21,7	4,38	29842,95	0,0	0,0	0,15	12,0	3175,1	14249,0	10701,8
9	4,07	18,2	4,29	27873,38	0,0	0,0	0,15	12,0	2893,8	13751,8	10199,6
10	4,07	43,8	5,64	12601,3	0,0	0,0	0,15	12,0	1101,6	2340,6	12863,5

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.



La figura sopra riportata si riferisce alla verifica di stabilità in cui viene simulata la realizzazione di opere di consolidamento del versante; nello specifico viene considerato la realizzazione di pali trivellati d. 600 mm.

Prendendo in esame la porzione a monte del palo, corrispondente alla strada comunale in oggetto, notiamo che il fattore di sicurezza  $F_s$  raggiunge valori decisamente elevati confermando che la palificata, da realizzare lungo la banchina di valle della strada comunale, porterebbe ad una condizione di stabilità della sede stradale.

Va precisato che la parte di versante a valle della palificata verrebbe minimamente influenzata dall'opera di consolidamento, pertanto non potrebbero essere escluse nuove attivazioni del movimento franoso.

Per tale motivo, al fine di evitare lo scalzamento al piede del versante, lungo l'alveo del torrente Trasubbie e del fosso del Becco, si prevede di realizzare una gabbionata opportunamente dimensionata per mitigare i flussi gravitativi alla base del versante; limitando l'asportazione al piede della massa detritica verrebbero rallentati, o addirittura eliminati, i movimenti traslativi che interessano la parte più a monte del versante.

#### Pali

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)
1	40,15097	168,492	0,6	12	90	0,8

#### Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza = 18,18

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	C (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	4,07	22,3	4,4	7056,03	583,53	291,41	0,15	12,0	5160,1	5810,7	4782,2
2	4,07	22,2	4,4	36274,64	2999,91	1498,14	0,15	12,0	4655,0	16384,8	6139,9
3	4,07	22,1	4,39	39226,86	3244,06	1620,07	0,15	12,0	4157,4	21507,3	6795,9
4	4,07	20,2	4,34	35191,73	2910,36	1453,42	0,15	12,0	3660,6	19407,7	6393,0
5	4,07	15,5	4,23	31940,45	2641,48	1319,14	0,15	12,0	3507,5	16773,5	5801,1
6	4,07	19,1	4,31	30492,96	2521,77	1259,36	0,15	12,0	3401,7	15696,1	5850,3
7	4,07	15,6	4,23	28621,04	2366,96	1182,05	0,15	12,0	3292,0	14317,9	5499,9
8	4,07	21,7	4,38	29842,95	2468,01	1232,51	0,15	12,0	3175,1	15965,7	6049,5
9	4,07	18,2	4,29	27873,38	2305,13	1151,17	0,15	12,0	2893,8	15147,2	5730,7
10	4,07	43,8	5,64	12601,3	1042,13	520,43	0,15	12,0	1101,6	5977,3	7609,6

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

## 9. ADEGUAMENTO SISMICO

Le NTC 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008) dispongono quanto segue:

1. definiscono le regole da seguire per la progettazione, esecuzione, collaudo e manutenzione delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica.
2. definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni e le prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.
3. forniscono i criteri generali di sicurezza.
4. precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, cioè i carichi sulle costruzioni.
5. definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

In riferimento alle NCT2008, il Comune di Scansano è stato inserito nella Zona sismica 3 avente una classe di sismicità  $S = 3$ , accelerazione  $ag = 0.15$  g, a cui corrisponde una accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni maggiore di 0.15 g, che si traduce in una accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico pari a 0.15 ag/g.

### Categorie di sottosuolo

Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi.

Risposta sismica locale è l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite trasmettendosi dal substrato rigido.

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento:

TIPO	FORMAZIONE STRATIGRAFICA	RESISTENZA NSPT o Cu
A	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	
B	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	<b>Nspt &gt; 50 colpi</b> <b>Cu &gt; 250 kPa - 2.55 Kg/cm<sup>2</sup></b>
C	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	<b>15 &lt; Nspt &lt; 50 colpi</b> <b>70 &lt; Cu &lt; 250 kPa - 0.71 &lt; Cu &lt; 2.55 Kg/cm<sup>2</sup></b>
D	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s.	<b>Nspt &lt; 50 colpi</b> <b>Cu &lt; 70 kPa - 0.71 Kg/cm<sup>2</sup></b>
E	<b>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</b> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).	

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate, è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

TIPO	FORMAZIONE STRATIGRAFICA	RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA [Cu]
S1	<b>Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s</b> , che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<b>10 &lt; Cu &lt; 20 kPa - 0.10 &lt; Cu &lt; 0.20 Kg/cm<sup>2</sup></b>
S2	<b>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive</b> , o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.	

Ai fini della definizione dell'azione sismica, è necessario conoscere il profilo stratigrafico del suolo di fondazione. In funzione di esso vengono definiti alcuni parametri fisici necessari al calcolo dell'azione sismica.

Nei casi indicati la valutazione della velocità di taglio riferita ai primi trenta metri di spessore della successione viene calcolata con la seguente espressione:

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

dove:

$h_i$  = spessore dello strato (m)

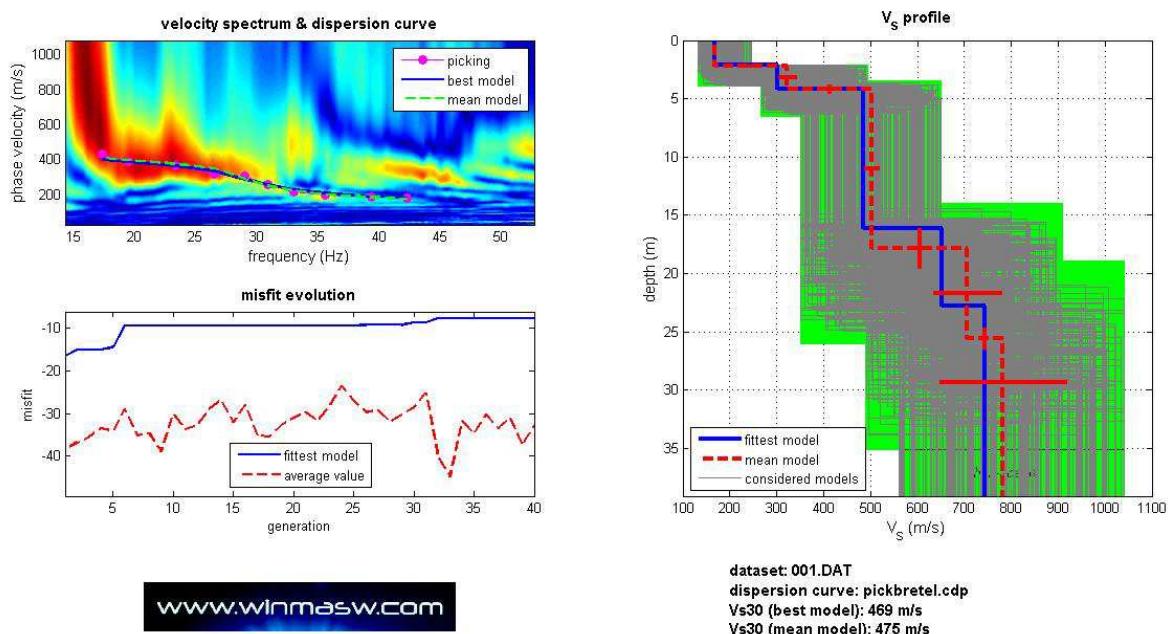
$V_i$  = velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, nei primi trenta metri (per deformazioni pari a  $\gamma = 10^{-6}$ )

Il sito verrà classificato in base al valore di  $V_{s30}$  se disponibile, altrimenti sulla base delle prove  $N_{spt}$ .

Per l'area in esame, è stato valutato il profilo stratigrafico di fondazione elaborando un'acquisizione tipo che rispondesse per caratteristiche del sistema di propagazione delle onde [S] in modo omogeneo.

Nella figura sottostante è riportata la modellizzazione e il profilo stratigrafico di fondazione; possiamo ritenere per la formazione stratigrafica presente, il seguente modello di  $V_s$ :

#### SPETTRO DI VELOCITA' E PROFILO DI VS CARATTERISTICO DELL'AREA DI INTERVENTO



Il suolo di fondazione viene così classificato:

**Classe B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Il fattore di amplificazione topografica sarà valutato in relazione alle caratteristiche del sito e della morfologia; detto fattore oscilla tra 0.9 e 1.8.

Per una maggiore valutazione dell'influenza del pendio il fattore ST (amplificazione topografica) è stato stimato attraverso l'utilizzo di appositi grafici; si può pertanto considerare per il sito in esame una classe T2 corrispondente ad un coefficiente di  $ST = 1.2$ .

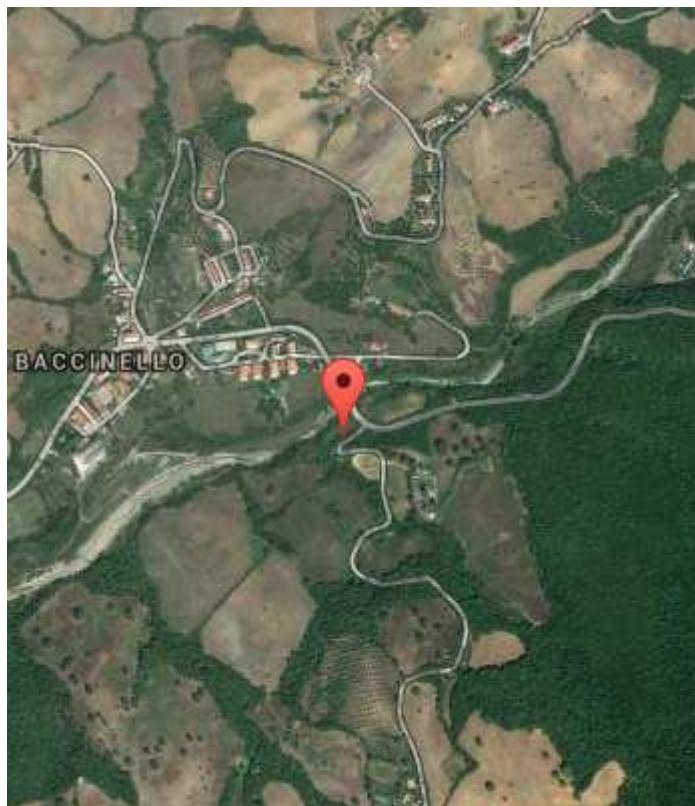
## 9.1 CALCOLO DEI COEFFICIENTI SISMICI

La pericolosità sismica del territorio viene ricavata da un reticolo di riferimento messo a disposizione dall'INGV, da cui ricavare in termini di accelerazione orizzontale massima ag gli spettri che permettono con le NTC di valutare le azioni di progetto nelle forme spettrali, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

ag = accelerazione orizzontale massima del terreno

Fo = fattore di amplificazione delle spettri in accelerazione orizzontale

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



### Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 42,790298

longitudine: 11,368702

Classe: 4

Vita nominale: 100

### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 24499	Lat: 42,7643	Lon: 11,3105	Distanza: 5559,248
Sito 2	ID: 24500	Lat: 42,7656	Lon: 11,3786	Distanza: 2868,898
Sito 3	ID: 24278	Lat: 42,8155	Lon: 11,3769	Distanza: 2886,126
Sito 4	ID: 24277	Lat: 42,8143	Lon: 11,3088	Distanza: 5568,876

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 200 anni

Coefficiente cu: 2

### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	120 [anni]
ag:	0,073 g
Fo:	2,495
Tc*:	0,262 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	201 [anni]
ag:	0,090 g
Fo:	2,480
Tc*:	0,266 [s]

### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	1898[anni]
ag:	0,191 g
Fo:	2,532
Tc*:	0,284 [s]

## Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 2475[anni]  
 ag: 0,207 g  
 Fo: 2,547  
 Tc\*: 0,286 [s]

## Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,440
St:	1,200
Kh:	0,021
Kv:	0,021
Amax:	1,025
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,200
Kh:	0,026
Kv:	0,013
Amax:	1,268
Beta:	0,200

SLV:

Ss: 1,200  
 Cc: 1,410  
 St: 1,200  
 Kh: 0,066  
 Kv: 0,033  
 Amax: 2,700  
 Beta: 0,240

SLC-

Ss:	1,190
Cc:	1,410
St:	1,200
Kh:	0,083
Kv:	0,041
Amax:	2,893
Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 (Geostru software)  
Coordinate WGS84 latitudine: 42.789319 longitudine: 11.367737

## 10. CONCLUSIONI

La presente relazione geologica, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Scansano, si riferisce all'indagine svolta per la caratterizzazione del dissesto franoso localizzato nelle immediate vicinanze della frazione di Baccinello (strada comunale cimitero).

Attraverso l'esecuzione di prospezioni geofisiche è stata definita la geometria e le dimensioni del dissesto che, unitamente alle caratteristiche stratigrafiche e geomeccaniche del terreno, permetteranno in ultima analisi, di definire gli orientamenti progettuali inerenti la tipologia degli interventi di consolidamento, mitigazione e messa in sicurezza.

In modo particolare verranno presi in considerazione gli interventi più adeguati per il consolidamento ed il successivo ripristino della strada comunale del cimitero attualmente lesionata dal dissesto franoso.

Altri interventi saranno invece previsti lungo un tratto dell'alveo del torrente Trasubbie e del fosso del Becco, al fine di mitigare l'erosione al piede del versante limitando, di conseguenza, il movimento gravitativo in atto nel settore a monte.

\* \* \* \* \*

Attraverso l'analisi dei dati scaturiti da n. 4 profili di sismica a rifrazione, eseguiti nel versante in esame, sono stati evidenziati lo spessore dei terreni di copertura interessati dal dissesto e l'evoluzione delle deformazioni gravitative del versante.

I risultati ottenuti dall'analisi dei dati derivanti dalle prospezioni geofisiche ha portato alla costruzione di un modello a cinque strati (Allegati n. 3, n. 4 e n. 5) in cui si possono individuare:

- un primo strato (strato allentato ed alterato), caratterizzato da una velocità sismica molto bassa (300-500 m/sec), corrispondente alla porzione di materiale detritico più allentata soggetta all'azione di scorrimento;
- un secondo strato, avente velocità sismiche di 600-700 m/sec, corrispondente ad una facies detritica interessata dallo scorrimento;
- uno strato alterato, con velocità sismica di 800-900 m/sec corrispondente ai materiali derivanti dal disfacimento delle rocce del substrato interessate da alterazione.
- un substrato marnoso-filladico con velocità delle onde di compressione di 1200 – 1500 m/sec;
- un substrato marnoso-arenaceo con valori intorno ai 1500 m/sec e 2000 m/sec per le porzioni più compatte.

\* \* \* \* \*

Per quanto concerne la parametrizzazione geomeccanica del terreno, vista la presenza di materiale grossolano al suo interno e l'impossibilità di prelevare campioni di terreno indisturbati, appare evidente la difficoltà di caratterizzare la copertura detritica; questo tipo di terreni presentano un'estrema variabilità ed una profonda anisotropia strutturale che comportano alterazioni fisico meccaniche d'insieme.

Pertanto è stata eseguita una back analysis per determinare le condizioni critiche raggiunte dai terreni di copertura ed i rispettivi parametri geomeccanici; questi dati sono ricavabili facendo variare la pressione neutra all'interno dei depositi stessi.

Abbiamo quindi suddiviso le varie successioni litologiche in classi litotecniche; questo ha permesso di valutare, puntualmente, il comportamento meccanico della struttura geologica e le sue possibili variazioni sia in senso verticale che in senso orizzontale.

Sulla base delle risultanze scaturite dall'indagine geofisica, unitamente alle considerazioni sopra riportate, è stato definito il modello geotecnico di riferimento; per maggiori dettagli si rimanda al relativo capitolo.

\* \* \* \* \*

Per consentire di valutare il meccanismo di evoluzione del sistema franoso, è stata effettuata una verifica di stabilità del versante in esame con lo scopo di evidenziare la superficie di scivolamento critica del versante; questo consente di stimare l'eventuale evoluzione del corpo franoso verso monte.

Con tale verifica è stata eseguita una valutazione oggettiva della superficie di scivolamento critica determinando, nella situazione attuale, la condizione di sicurezza con coefficiente pari ad  $F = 1.3$ .

Determinata la probabile linea di scorrimento critica, si sono successivamente valutate le opere di consolidamento e di mitigazione, tenendo presente che la condizione di sicurezza, prevista dal D.M. 14/01/2008, prevede un coefficiente di sicurezza  $F = 1.0$ , considerando inoltre la classe di sismicità dell'area.

**Nelle verifiche di stabilità eseguite è stata simulata la realizzazione di opere di consolidamento del versante, consistenti nella realizzazione di pali trivellati d. 600 mm, posizionati lungo la banchina di valle della strada comunale; il fattore di sicurezza  $F_s$  che ne scaturisce riferito alla parte a monte del palo, quindi corrispondente alla strada comunale in oggetto, raggiunge valori decisamente elevati confermando che la palificata porterebbe ad una condizione di stabilità.**

Tuttavia va precisato che la parte di versante a valle della palificata verrebbe minimamente influenzata dall'opera di consolidamento suddetta, pertanto non potrebbero essere escluse nuove attivazioni del movimento franoso; per tale motivo, al fine di evitare lo scalzamento al piede del versante, da parte delle acque di scorrimento lungo l'alveo del torrente Trasubbie e del fosso del Becco, si prevede di realizzare una gabbionata opportunamente dimensionata per mitigare i flussi gravitativi alla base del versante.

Questa opera avrà quindi la funzione di semplice protezione spondale al piede del versante che, limitando l'asportazione della massa detritica, rallenterebbe anche i dissesti gravitativi che interessano la parte a monte del versante.

Pertanto opere a gravità, assimilabili ai gabbioni, tali da garantire una sicura situazione di stabilità del versante, sono da escludere perché comporterebbero un impegno progettuale ed economico assolutamente sproporzionato nel contesto generale in cui si inserisce il dissesto franoso in oggetto.

Per migliorare ulteriormente la stabilità del versante saranno necessari interventi di ripristino della coltre detritica e al fine di aumentarne la stabilità e la tenuta della stessa; a tale fine l'utilizzo di biostuoie avranno la funzione di ridurre i fenomeni erosivi superficiali con il rinverdimento del manto di copertura vegetale.

\* \* \* \* \*

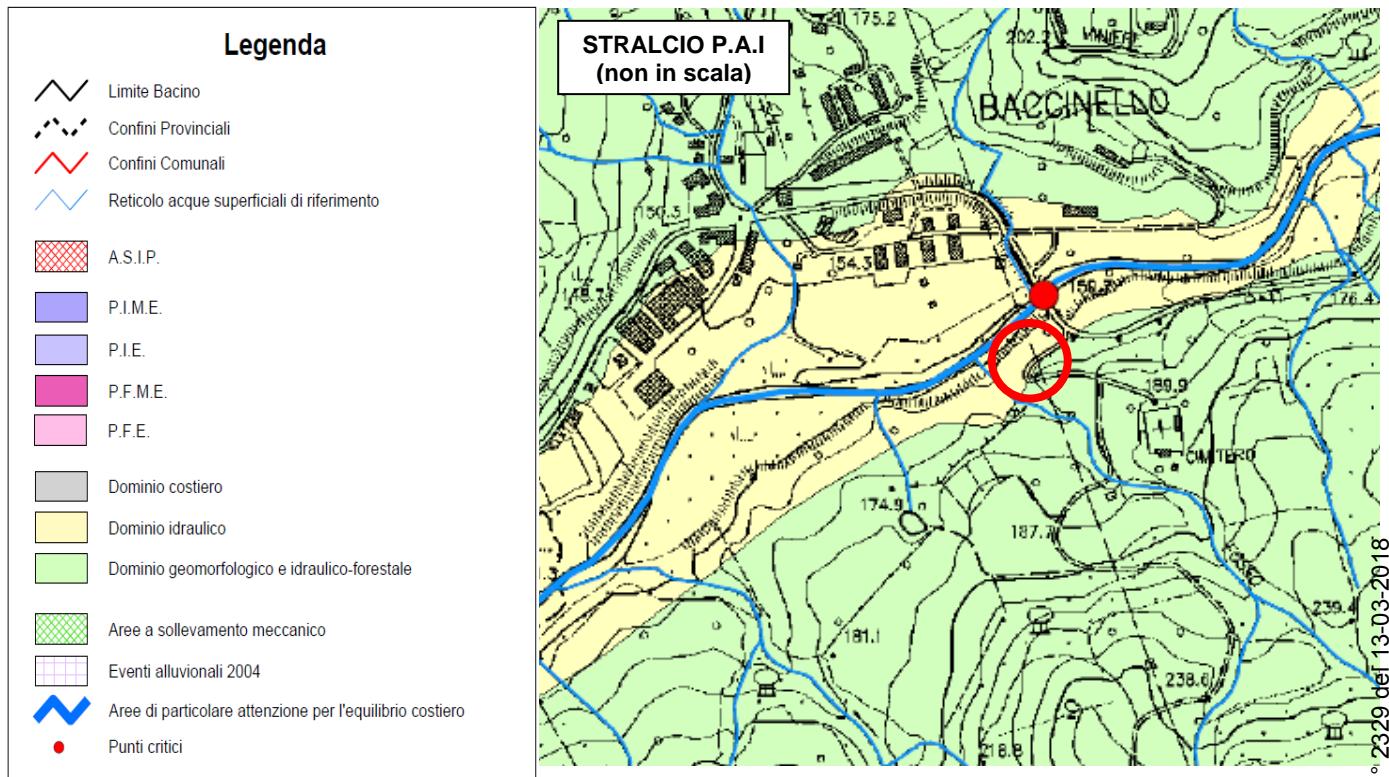
Per quanto concerne il modello geologico di riferimento previsto dalla normativa vigente D.M.14/01/2008, riferendoci alla situazione stratigrafica sopra esposta, possiamo ritenere il suolo appartenente alla seguente categoria:

**Classe B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

\* \* \* \* \*

in riferimento al P.A.I. l'intervento ricade nel **Dominio Idraulico**, corrispondente ad aree nelle quali al di là delle criticità presenti, è necessaria un'azione di presidio territoriale tesa da un lato a prevenire il manifestarsi di dissesti locali, dall'altra a non indurre variazioni di carichi incontrollati nelle zone definite di "dominio idraulico".

In tale fascia sono e devono essere applicate misure dettate al corretto assetto idrogeologico, commisurandosi alle normative che dettano prescrizioni e corrette valutazioni per mantenere la compatibilità fra gli interventi progettuali e l'assetto idrogeologico delle aree.



### DEFINIZIONE DI RISCHIO GEOLOGICO-AMBIENTALE

È definito il rischio geologico-ambientale quello derivante dall'insistere di attività umane in zone che presentano condizioni di pericolosità reale o potenziale derivanti da:

- propensione al dissesto (franosità) per caratteristiche morfologiche, litotecniche, strutturali e vegetazionali;
- possibilità di inondazione (alluvionamento) per caratteristiche topografiche, morfologiche, idrogeologiche e idrauliche;
- vulnerabilità all'inquinamento delle falde (vulnerabilità falde) per caratteristiche idrogeologiche

Sulla base della definizione sopra riportata, nel caso in esame, è significativo parlare solo di rischio geologico riferendoci esclusivamente alla criticità riguardante la strada comunale; pertanto avremo:

#### **Rischio Geologico [CLASSE 4 - elevata]:**

In questa classe ricadono aree interessate da fenomeni di dissesto in atto quali: frane, fenomeni di subsidenza, zone interessate da creeping, scarpate di degradazione attive, aree con evidenti sintomi premonitori di fenomeni gravitativi, zone in forte erosione sia areale che lineare, sponde fluviali in erosione e arretramento.

Invece per quanto riguarda le opere di protezione spondale (gabbionate) da realizzare nell'alveo del torrente Trasubbie e del fosso del Becco, non possiamo parlare di rischio idraulico perché in tali opere, una volta ultimate, non andrà ad insistere nessun tipo di attività umana; lo stesso dicasi anche per il rischio legato alla vulnerabilità delle falde.

Dalla classe di rischio geologico sopra descritta deriva la seguente classe di fattibilità:

**Classe di Fattibilità 4 [limitata]:**

Equivale a livelli di rischio elevato ottenibili ipotizzando qualsiasi tipo di utilizzazione che non sia puramente conservativa o di ripristino in aree a pericolosità elevata; in queste aree già a livello di strumento urbanistico generale sono da prevedersi specifiche indagini geognostiche e quanto altro necessario per precisare i termini del problema: in base ai risultati di tali studi dovrà essere predisposto un esauriente progetto degli interventi di consolidamento e bonifica, miglioramento dei terreni e tecniche fondazionali particolari ed un programma di controlli necessari a valutare l'esito di tali interventi.

Il livello di pericolosità è tale che l'intervento deve considerare una serie di prescrizioni in relazione alla stabilità dei pendii; le aree di affioramento dei Flysch calcareo argilloso rientrano generalmente in questo livello di rischio.

*Pertanto considerati gli elementi sopra descritti, riferiti alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche, possiamo valutare l'intervento in progetto compatibile con l'attuale sistema ambientale rimandando alle prescrizioni redatte nella presente indagine.*

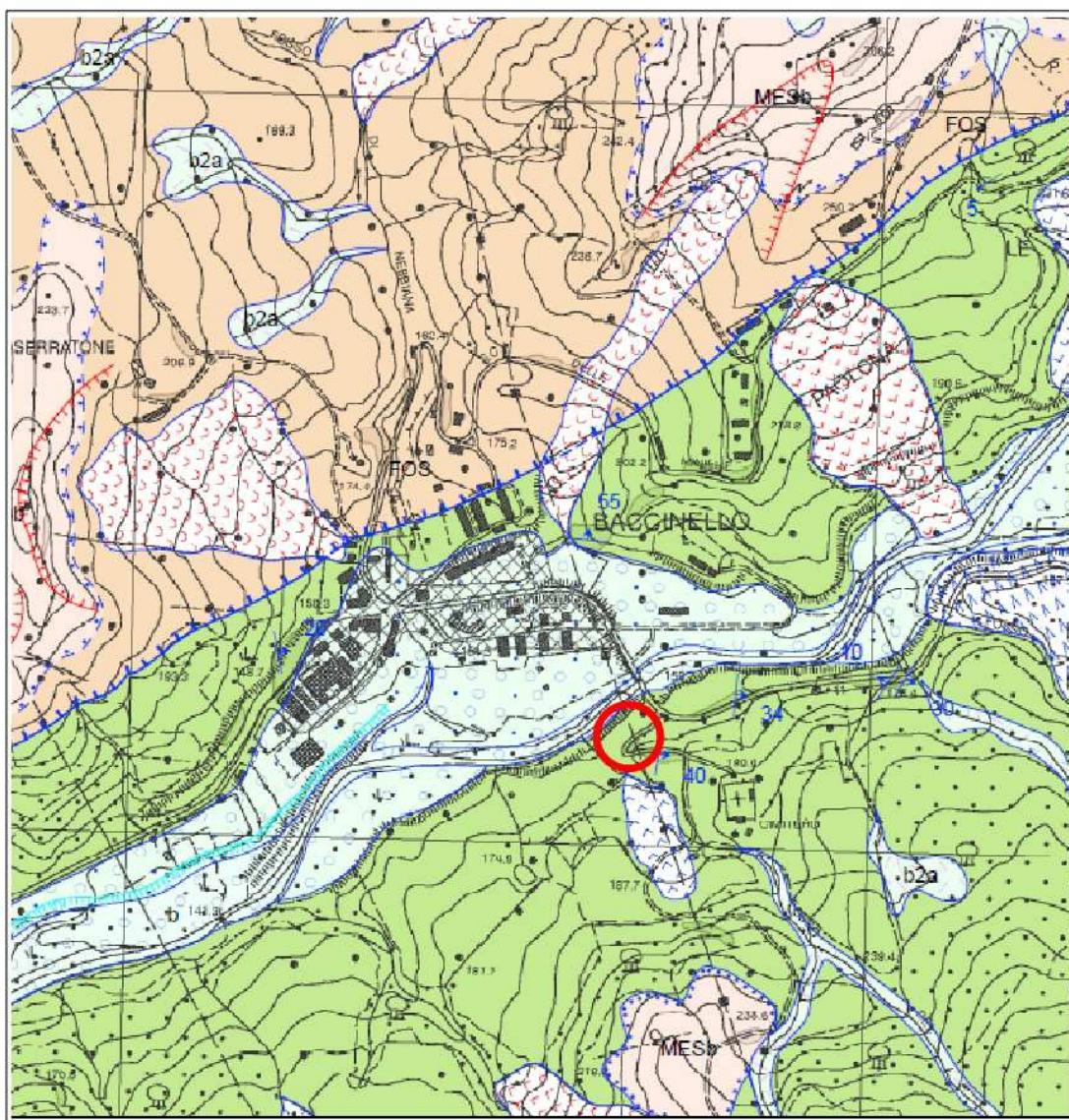
*Si può quindi esprimere un parere favorevole di fattibilità.*

**Grosseto, Settembre 2014**

**Dott. Geol. Alessandro Piccinelli**

**CARTA GEOLOGICA**  
(scala 1:10 000)

Stralcio Carta Geologica Regionale - Sezione 332010  
( CARG - Regione Toscana - fonte Web SITA Cartoteca)



a1q Frana di scorrimento senza indizi di evoluzione

DEPOSITI LACUSTRI DEL TUROLIANO INFERIORE

FOS ARGILLE DEL TORRENTE FOSCI  
Argille con intercalazioni di arenarie e conglomerati  
(Turoliano inf.)

DOMINIO LIGURE ESTERNO

FIA FORMAZIONE DI SANTA FIORA  
Argilliti grigio-brune e calcilutiti  
(Cretacico sup. - Paleocene)

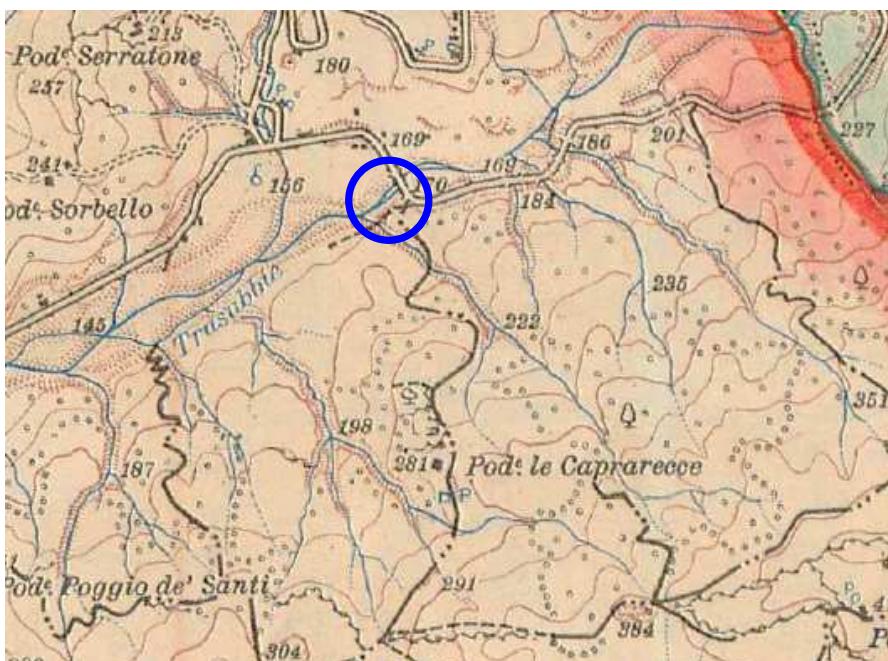


Area in esame



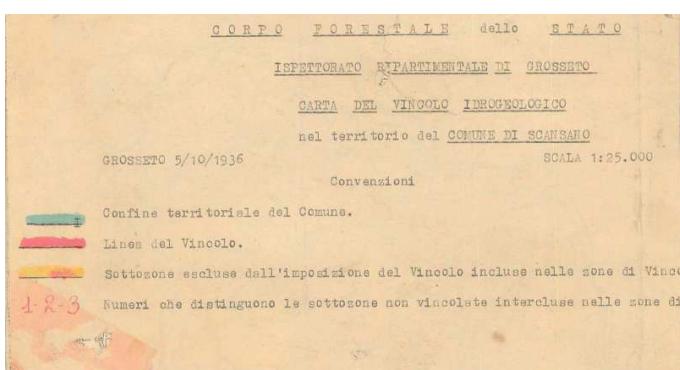
### Carta del Vincolo Idrogeologico

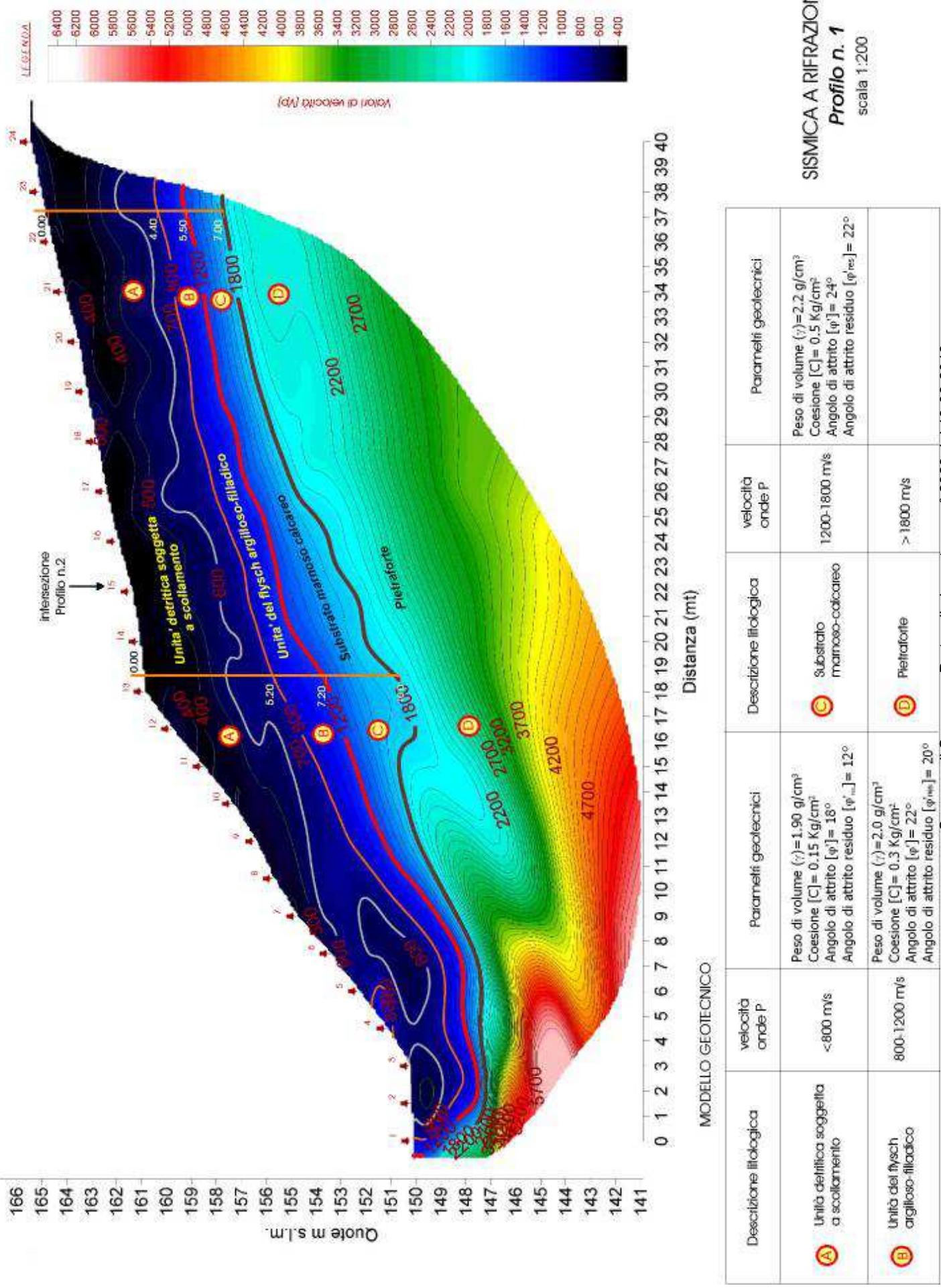
Stralcio schede di documentazione archivi geografici (Metadata) - fonte Web SIT Provincia di Grosseto

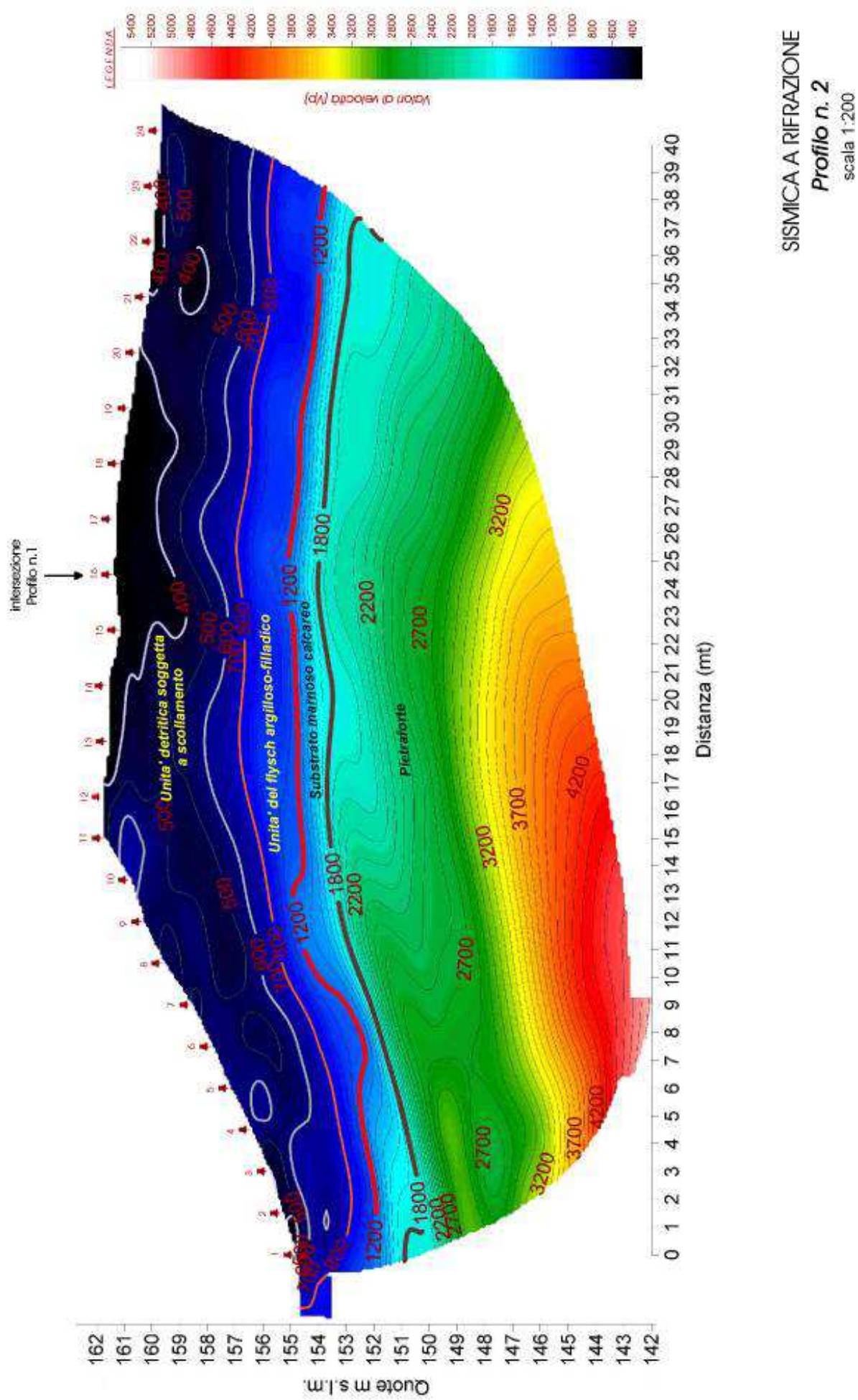


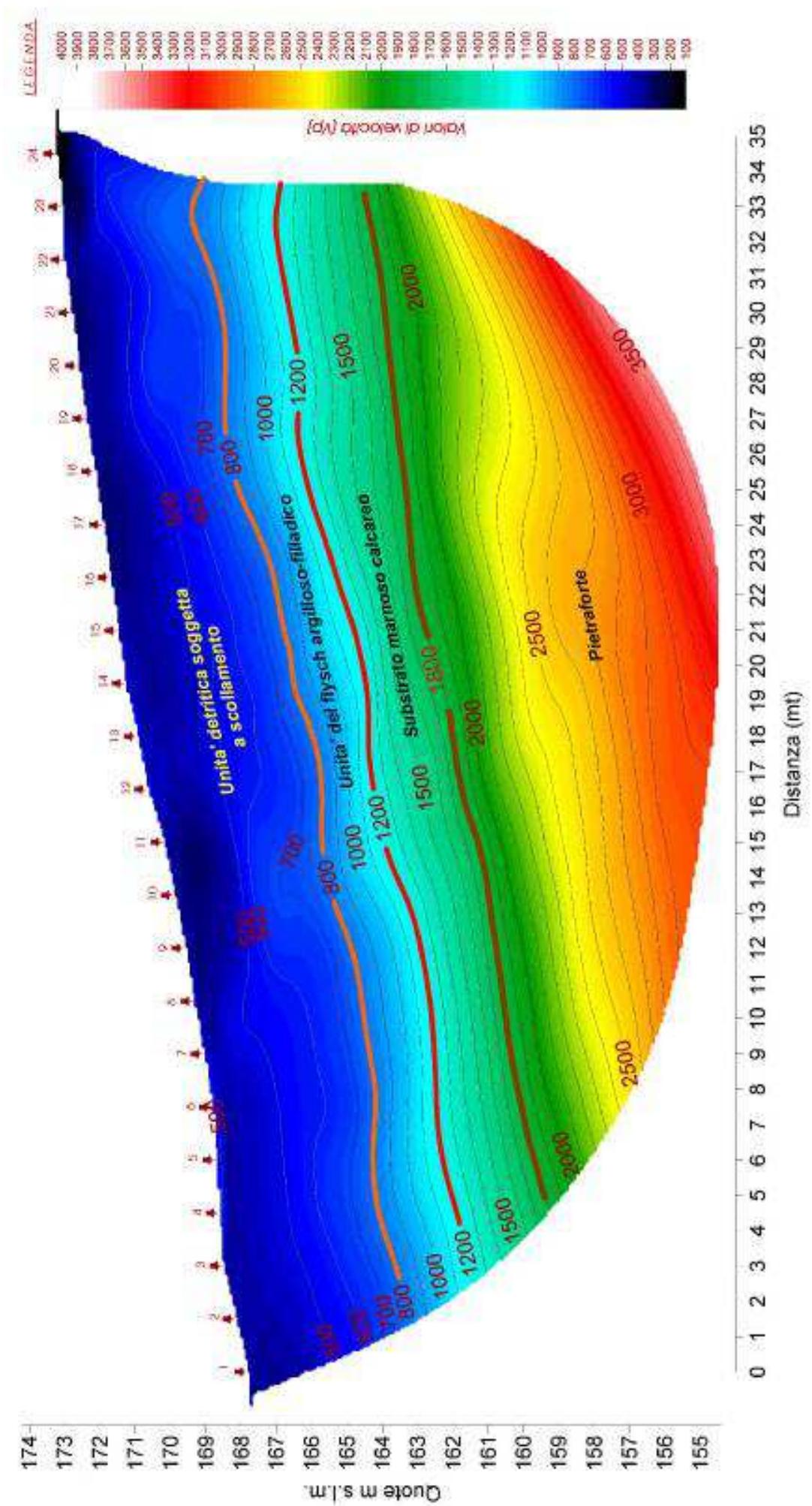
### Carta del Vincolo Idrogeologico

Stralcio cartografia telata originale - fonte Web SIT Provincia di Grosseto









SISMICA A RIFRAZIONE  
Profilo n. 3

scala 1:200

